

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO REGIS DOS SANTOS FILHO

GEOMORFOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESTADO DO  
PARANÁ E NORTE DE SANTA CATARINA

PONTAL DO PARANÁ

2009

JOÃO REGIS DOS SANTOS FILHO

GEOMORFOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESTADO DO PARANÁ  
E NORTE DE SANTA CATARINA

Monografia apresentada como requisito parcial à conclusão do Curso de Oceanografia com habilitação em Pesquisa Oceanográfica, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo R. Lamour

PONTAL DO PARANÁ

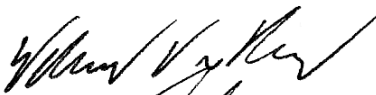
2009

## TERMO DE APROVAÇÃO

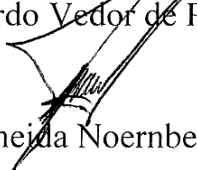
**João Regis dos Santos Filho**

**“GEOMORFOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO  
ESTADO DO PARANÁ E NORTE DE SANTA CATARINA”**

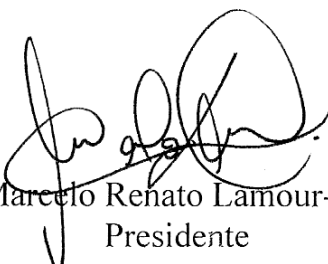
Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de  
Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela  
Comissão formada pelos professores:



MSc. Eduardo Vedor de Paula



Prof. Dr. Mauricio Almeida Noernberg-CEM/UFPR



Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour-CEM/UFPR  
Presidente

Pontal do Paraná, 09 de dezembro de 2009

Aos meus pais, Regis e Eliane,  
e a minha irmã Elisa.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o guia de toda a minha vida.

Aos meus pais, João Regis dos Santos e Eliane Duque Neves dos Santos, por todo amor, dedicação e principalmente por acreditarem em mim. Vocês são o motivo dessa conquista!

A minha irmã, Elisa Duque Neves dos Santos, pelo apoio e pelas conversas de horas a fio. Te amo “maninha”!

Ao Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour, pela orientação que transcendeu a academia. Posso dizer que você é um dos principais responsáveis pelo que sou hoje. Muito obrigado pela amizade, pelas boas risadas e pelos puxões de orelha!

Ao Doutorando Eduardo Vedor de Paula, pelas dicas e ajudas com o software.

A Msc. Rafaela Cristine Zem, pela imensa ajuda na interpretação dos mapas e pelas longas conversas na escada. Valeu pela força!

A amiga Pâmela Emanuely Cattani, por não me deixar lutar sozinho! Você é muito especial pra mim!

Ao colega e amigo Diógenes Magno Laube, pelas conversas animadas e companhia no dia a dia. Você é um irmão pra mim!

A colega Suzimara Possenti, pelas coletas cansativas e pelas piadinhas sem graça!

Aos colegas do LOGEO: Mariana Tramuja, Larissa Alves, Juliane Castro, Tuan Parizotti, Rafael Pilato, Felipe de Freitas, Mirella Leis, Wilson e Bruna Luz. Obrigado pelos momentos de boas risadas no laboratório, pela ajuda no processamento das amostras e pelo apoio nos momentos difíceis. Levarei todos vocês no meu coração!

A todo o pessoal do CHM, em especial a Cmte. Rosuila Helena Roso pela oportunidade de estágio, ao Cmte. Jorge Carvalho pela ajuda na obtenção de dados

e a Oc. Mariana de Brum Lopes pela enorme ajuda na escolha e transformação dos dados batimétricos. Muito obrigado e “restará sempre muito o que fazer”!

Ao senhor Alberto do BNDO pela liberação de todas as informações batimétricas presentes neste trabalho.

Aos amigos Marco Brustolin, Renato Bot, Ana Carolina, Melina Ueda, Bryan Müller, Felipe Abatepaulo e Camila Domit, por me agüentarem!

Ao Denis Cardoso, por todos os dias de muitas risadas, faxinas no “apê” e altas ondas. Aloha Mahalo!

Aos amigos de Niterói, em especial ao Saulo Jesus, Marcos Stefano, Carla Stefano, Danilo Guarnieri, pela saudade e carinho!

Aos meus tios e primos do Rio, pela recepção sempre calorosa quando volto pra casa.

A minha avó, Maria Dionília de Andrade Santos, e a todos os meus tios e primos da Bahia. Um cheiro pra vocês!

A Pontal do Sul, pelos dias de sol, chuva, pescarias, caminhadas, trilhas, mergulhos e lua cheia.

Ao mar, pelos dias clássicos.

E aos amigos da GRR2005, pelo companheirismo e pela jornada.

A todos, muito obrigado!

“Finalmente, vou sempre para o mar na qualidade de marinheiro por causa do exercício saudável e do ar puro do convés do castelo de proa. Por que, assim como neste mundo os ventos de proa são superiores aos ventos de popa (isto é, se nunca violarmos a máxima de Pitágoras) o comandante, em geral, recebe no tombadilho uma atmosfera de segunda mão, que lhe vem dos marinheiros do castelo de proa. O comandante pode pensar que é o primeiro a respirá-la, mas não é assim.”

Moby Dick – Herman Melville

## RESUMO

A Zona Costeira possui o seu equilíbrio dinâmico baseado na interação de forçantes naturais (ondas, correntes de marés, meteorologia, tipos de sedimentos e topografia de fundo) e também nas intervenções antrópicas como a urbanização, a realização de obras costeiras e dragagens. A plataforma continental é o prolongamento submerso da região costeira, sendo a sua topografia resultante de efeitos erosivos e deposicionais nas áreas emersas e imersas e de variações do nível relativo do mar durante o Quaternário. O conhecimento da região de plataforma fez-se necessário para entender de que maneira os diferentes atores físicos e geológicos presentes na região costeira interferem na sua atual configuração bem como no seu arranjo em épocas passadas. O objetivo geral deste estudo foi caracterizar a geomorfologia da plataforma continental paranaense e norte catarinense pela análise de levantamentos batimétricos, visando criar setores em função dos gradientes de inclinação, da identificação de feições de fundo, da identificação de sistemas de paleo-drenagem, da identificação de paleo-linhas de costa e da geração de informações úteis para o gerenciamento costeiro da região. Os dados batimétricos utilizados pertencem ao acervo da Marinha do Brasil, que passaram pela padronização de datum e sistema de coordenadas, as quais foram submetidas a um SIG para a confecção de modelos digitais de elevação. As profundidades variaram entre os 2 e 59 metros. As partes mais profundas se encontram na região E/SE e as mais rasas próximas a costa, ambas com uma média de inclinação de  $\sim 0,059^\circ$ . Também foi possível a identificação de quatro setores distintos quanto a sua declividade ao longo da plataforma sendo eles associados às desembocaduras do Complexo Estuarino de Paranaguá, da baía de Guaratuba e da baía da Babitonga. As maiores declividades estão próximas as regiões de desembocadura e das ilhas oceânicas do Paraná e de Santa Catarina. Além disso, foi possível observar uma extensa região formada por degraus bem delimitados entre - 20 m e -30 m. Foram encontrados três sistemas de paleo-drenagem associados às atuais desembocaduras do mar do Ararapira (SP/PR), do CEP (PR) e da baía da Babitonga (SC).

Palavras-chave: Batimetria. Paleo-linha de costa. Nível relativo do mar.



## ABSTRACT

The coastal zone has its dynamic equilibrium based on the interaction of natural forces (waves, tidal currents, weather, types of sediments and bottom topography) and also in human interventions as urbanization, coastal constructions and dredging. The continental shelf is the submerged prolongation of the coastal region, and its topography is resulting from effects of erosion and depositional in emerged and submerged areas and changes on the relative sea level during the Quaternary period. The knowledge of the region's platform was necessary to understand how the physical and geological actors interfere in the coastal configuration as well their arrangement in the past. The objective of this study was to characterize the geomorphology of the Parana and north of Santa Catarina continental shelf by the analysis of bathymetric surveys in order to create sectors of the slope gradients, identifying bottom forms, identification paleo-drainage systems and paleo-shorelines and the generation of useful information for coastal management in the region. The bathymetric data used belongs to the collection of the Brazilian Navy. The data had the datum and coordinate system standardized on a GIS for making digital elevation models. The depths ranged between 2 and 59 meters. The deepest parts are in the E / SE and shallower near the coast, both with an average slope of  $\sim 0.059^\circ$ . It also allowed the identification of four distinct slope sectors along the platform, associated with them the mouth of the CEP, the Guaratuba bay and Babitonga bay. The highest slopes were close to the estuaries mouth and the oceanic islands of Parana and Santa Catarina. Furthermore, we observed a region formed by well-defined plateaus between - 20 and -30 m. Three systems of paleo-drainage associated with the current mouth of the Ararapira sea (SP / PR), the CEP (PR) and the Babitonga bay (SC) were found.

Keywords: Bathymetry. Paleo-coastline. Relative sea level.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO E BATIMETRIA DA ÁREA DE ESTUDO, COM SUAS PRINCIPAIS LOCALIDADES.....	18
FIGURA 2- UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DO LITORAL PARANAENSE: (1) PLANALTOS; (2) SERRAS ORIGINADAS POR DISSECAÇÃO DE BORDA DE PLANALTO; (3) SERRAS ORIGINADAS POR EROSÃO DIFERENCIAL; (4) TALÚS, LEQUES ALUVIAIS E PLANÍCIES ALUVIAIS; (5) PLANÍCIE COSTEIRA; (6) DIVISOR DE ÁGUAS; (7) LIMITES DO ESTADO (FONTE: ANGULO, 1999).....	20
FIGURA 3- MAPA GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DO PARANÁ (FONTE: LESSA <i>et al.</i> , 2000).....	21
FIGURA 4- MAPA GEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE ITAPOÁ (SC).....	22
FIGURA 5- MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS SEDIMENTOS E BATIMÉTRICO DA REGIÃO SUDESTE/SUL DO BRASIL ATÉ A QUEBRA DO TALUDE (FONTE: FIGUEIREDO JR. & MADUREIRA, 2004).....	25
FIGURA 6- MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS SEDIMENTOS DA PLATAFORMA INTERNA ENTRE OS MUNICÍPIOS PARANAENSES DE MATINHOS E PONTAL DO PARANÁ (FONTE: VEIGA, 2005).....	26
FIGURA 7- FLUXOGRAMA DE RELAÇÃO ENTRE OS ELEMENTOS RESPONSÁVEIS PELA MORFODINÂMICA DA PLATAFORMA CONTINENTAL (FONTE: WRIGHT, 1995).....	34
FIGURA 8- FENÔMENOS ASTRONÔMICOS RESPONSÁVEIS PELA VARIAÇÃO NA INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A SUPERFÍCIE DO PLANETA OU CICLO DE MILANKOVITCH (FONTE: RUTHERFORD, 1997).....	36
FIGURA 9- CURVAS DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR DURANTE O HOLOCENO EM DIVERSAS REGIÕES DO HEMISFÉRIO SUL (FONTE: ANGULO <i>ET AL.</i> , 2006).....	37
FIGURA 10- ÁREAS DE RECOBRIMENTO DAS FOLHAS DE BORDO DE 1960 (A), QUE ABRANGE DA ILHA DO CARDOSO (SP) A BAÍA DE GUARATUBA (PR), E 1972 (B) QUE ABRANGE DA BAÍA DE GUARATUBA (PR) A BARRA DO SUL (SC).....	40

FIGURA 11- COMPOSIÇÃO DE UMA IMAGEM RASTER EM FUNÇÃO DOS VALORES OBTIDOS EM CAMPO.....	41
FIGURA 12- COMPONENTES DE UMA SUPERFÍCIE FORMADA POR INTERPOLAÇÃO TIN.....	41
FIGURA 13- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS BATIMÉTRICOS.....	43
FIGURA 14- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS BATIMÉTRICOS DIVIDIDOS A CADA 10 M DE PROFUNDIDADE.....	44
FIGURA 15- ESQUEMA DO CÁLCULO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA PLATAFORMA CONTINENTAL A PARTIR DE TRIGONOMETRIA.....	44
FIGURA 16- ORGANOGRAMA DO PROCESSAMENTO REALIZADO PARA CONSTRUÇÃO NOS MDES, MODELOS TRIDIMENSIONAIS, MAPAS DE DECLIVIDADE, PERFIS BATIMÉTRICOS E CÁLCULO DE INCLINAÇÃO DA PLATAFORMA CONTINENTAL.....	45
FIGURA 17- MAPA BATIMÉTRICO DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESTADO DO PARANÁ E NORTE DE SANTA CATARINA COM A LOCALIZAÇÃO DOS ESTUÁRIOS, ILHAS OCEÂNICAS E DE ALGUMAS DAS PRINCIPAIS FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS, SENDO ELAS: 1- ESTRANGULAMENTO DA FAIXA DE PROFUNDIDADES DE 34 A 44 M, 2- PLATÔS, 3- MAIOR INFLEXÃO E 4- MENOR INFLEXÃO.....	48
FIGURA 18- PERFIS BATIMÉTRICOS DOS PONTOS P3, P5, P8 E P11.....	49
FIGURA 19- PERFIS BATIMÉTRICOS DOS PONTOS P15, P17, P20 E P24.....	50
FIGURA 20- PERFIS BATIMÉTRICOS DOS PONTOS P28 E P2.....	51
FIGURA 21- DENDOGRAMA DE SIMILARIDADE ENTRE OS ÂNGULOS DE INCLINAÇÃO DOS PERFIS COM OS QUATRO GRUPOS DE DECLIVIDADE IDENTIFICADOS.....	52
FIGURA 22- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS GRUPOS DE INCLINAÇÃO IDENTIFICADOS PELA ANÁLISE DE SIMILARIDADE ENTRE OS PERFIS.....	52

FIGURA 23- DIVISÃO DOS SETORES EM FUNÇÃO DA COMPARAÇÃO ENTRE O ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DOS PERFIS BATIMÉTRICOS DIVIDIDOS A CADA 10 M DE PROFUNDIDADE E A COMPARAÇÃO COM OS SETORES ENCONTRADOS PELA ANÁLISE DE SIMILARIDADE.....53

FIGURA 24- MAPA DE ÁREAS DE DECLIVIDADE CRIADO ATRAVÉS DA INTERPRETAÇÃO (B) DO MAPA DE DECLIVIDADE GERADO A PARTIR DA SUPERFÍCIE TIN (A).....54

FIGURA 25- MAPA DE DECLIVIDADE DA PLATAFORMA CONTINENTAL CRIADO A PARTIR DA INTERPOLAÇÃO DE MÍNIMA CURVATURA DE TENSÃO.....55

FIGURA 26- MAPA DAS PALEO-PLANÍCIES COSTEIRAS DE ACORDO COM AS PROFUNDIDADES DE OCORRÊNCIA DOS ARENITOS DE PRAIA DATADOS POR VEIGA (2005).....56

FIGURA 27- PERFIS AO LONGO DOS CANAIS A E B.....57

FIGURA 28- MAPA DAS PALEO-PLANÍCIES COSTEIRAS DE ACORDO COM AS PROFUNDIDADES DE OCORRÊNCIA DOS ARENITOS DE PRAIA DATADOS POR VEIGA (2005).....58

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
<b>3. ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>18</b>
3.1 PLANÍCIE COSTEIRA DO PARANÁ E NORTE DE SANTA CATARINA.....	19
3.2 A PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA.....	23
3.2.1 Características Gerais.....	23
3.2.2 A plataforma continental sul-sudeste do Brasil.....	24
3.3 CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS.....	27
3.3.1 Ondas.....	27
3.3.2 Massas de água, correntes oceânicas e de deriva.....	28
<b>4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>29</b>
4.1 A REGIÃO COSTEIRA.....	29
4.2 A PLATAFORMA CONTINENTAL: DEFINIÇÃO, TIPOS, MORFOLOGIA E SEDIMENTOS.....	30
4.3 PROCESSOS MORFODINÂMICOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL: SEDIMENTAÇÃO, EQUILÍBRIO E TRANSPORTE.....	31
4.4 VARIAÇÕES EUSTÁTICAS GLOBAIS DO NÍVEL DO MAR DURANTE O PERÍODO QUATERNÁRIO.....	35
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
5.1 DADOS BATIMÉTRICOS.....	38
5.1.1 Método de obtenção de dados batimétricos utilizado pela Marinha do Brasil.....	38
5.1.2 Conjunto de dados.....	39
5.2 GEOPROCESSAMENTO.....	41
5.3 CÁLCULO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA PLATAFORMA.....	42
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>46</b>
6.1 GEOMORFOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESTADO DO PARANÁ E NORTE DE SANTA CATARINA.....	46

6.2 CANAIS E PALEO-LINHAS DE COSTA.....	56
<b>7. DISCUSSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>8. CONCLUSÃO.....</b>	<b>62</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>64</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Zona Costeira constitui uma região de fronteira entre o continente e o mar, tendo a sua morfologia constantemente modelada por processos de origem continental e marinha (Silva *et al.*, 2004). Essa região possui o seu equilíbrio dinâmico baseado na interação de forçantes naturais (ondas, correntes de marés, meteorologia, tipos de sedimentos e topografia de fundo) e também nas intervenções antrópicas como a urbanização, a realização de obras costeiras e dragagens (Lamour & Soares, 2008).

A região costeira possui extrema importância ambiental, abrigam diversas espécies de plantas e animais que possuem todo o seu ciclo de vida, ou parte dele, nessa zona (Vernberg & Vernberg, 2001). Segundo estes autores, a região costeira também se caracteriza como sendo uma das zonas mais habitadas do planeta. Estima-se que oito de cada dez cidades mais populosas do mundo estão localizadas nessa região, que acaba recebendo os mais variados tipos de ocupação e uso.

A plataforma continental é o prolongamento submerso da região costeira, sendo a sua topografia resultante de efeitos erosivos e deposicionais nas áreas emersas e imersas (Neto & Silva, 2004). A plataforma continental interna (de 0 a 30 m de profundidade) atua no fornecimento bidirecional de sedimentos, tanto do continente para as áreas mais profundas do oceano, quanto da zona imersa para as praias e sistemas de barreiras (perfil praiial, dunas frontais e cordões litorâneos) (Wright, 1995). Segundo este autor, a plataforma continental também molda os processos costeiros atuando sobre as forças hidrodinâmicas que os governam.

A configuração atual da plataforma continental também é resultado das variações do nível relativo do mar que ocorreram ao longo da história geológica da Terra. Segundo Tennyson (1982), sucessivas regressões e transgressões do mar serviram como instrumento na transformação da plataforma continental, especialmente durante as épocas de nível do mar mais baixo. Os processos físicos que ocorrem atualmente sobre a plataforma interna atuaram sobre a região que atualmente corresponde à plataforma média (de 30 a 100 m de

profundidade), sendo esses preservados nessa região da plataforma (Wright, 1995).

Segundo Wright (1995), o formato da costa e as suas mudanças ao longo do tempo são respostas ao atrito entre a massa de água e o fundo, geradas pelo movimento dos fluidos no espaço e no tempo. As características atuais da plataforma continental como a sua inclinação e topografia são resultados da erosão e sedimentação causadas por esse efeito, relacionadas a numerosas oscilações do nível do mar de larga escala durante o período Quaternário (Kennet, 1982).

A plataforma continental paranaense se enquadra nas características gerais da plataforma Sul/Sudeste do Brasil (Veiga, 2005). Essas características são: uma plataforma larga e de gradiente suave até o talude continental, originado pela elevada sedimentação proveniente dos continentes (Solewics, 1989). A morfologia do fundo na plataforma interna paranaense está relacionada ao sistema deposicional da planície costeira adjacente, respondendo às mudanças no nível médio do mar durante o Quaternário (Veiga, 2006).

Embora existam estudos sobre a batimetria do litoral do Paraná, a maioria destes está concentrada na desembocadura Sul do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), pelos constantes problemas de assoreamento no principal canal de acesso aos portos costeiros do Paraná (Lamour, 2000). Além disso, o conhecimento da região mais profunda faz-se necessário para entender de que forma os diferentes atores físicos e geológicos presentes na região costeira interferem na atual configuração da plataforma continental bem como no seu provável arranjo em épocas passadas.



## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi caracterizar a geomorfologia da plataforma continental paranaense e norte catarinense pela análise de levantamentos batimétricos.

Os objetivos específicos foram:

- Identificar os gradientes de inclinação da porção de plataforma continental estudada, comparando os perfis batimétricos em diferentes latitudes
- Determinar a ocorrência de possíveis feições de fundo (deltas, terraços, declives, vales e canais) na área de estudo, os relacionando com diferentes condicionantes oceanográficas, drenagem continental e com as variações do nível relativo do mar durante o período Quaternário.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

A área analisada compreende o litoral do estado do Paraná e a porção norte do estado de Santa Catarina (FIGURA 1). Segundo Angulo *et al.* (2009), essa região é caracterizada por abrigar três sistemas estuarinos bem estabelecidos: o Complexo Estuarino de Paranaguá - CEP (PR), a Baía de Guaratuba (PR) e a Baía da Babitonga (SC).



FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO E BATIMETRIA DA ÁREA DE ESTUDO, COM SUAS PRINCIPAIS LOCALIDADES.

### 3.1 PLANÍCIE COSTEIRA DO PARANÁ E NORTE DE SANTA CATARINA

O litoral paranaense pode ser dividido em duas subzonas de paisagem: a montanhosa litorânea e a planície litorânea (Maack, 1968, *apud* Angulo, 1992). Essa divisão permite a distinção entre a parte interna da planície, ao sopé da serra, e a parte externa que é banhada pelo oceano. A porção rochosa da Serra do Mar no estado do Paraná é caracterizada como serra de borda de planalto ou de escarpa, além de possuir setores que se originaram através de erosão diferencial (Angulo, 1992).

Segundo este mesmo autor, a planície litorânea paranaense (FIGURA 2) se estende por 90 km, com uma largura máxima de aproximadamente 55 km. Esta planície é recortada pelo CEP e pela baía de Guaratuba, dando origem a um desenho complexo com a presença de diversas ilhas, dentre as quais se destacam as ilhas do Mel, da Cotinga, Rasa da Cotinga, das Peças e do Superagüi, sendo elas um misto entre deposição marinha e embasamento cristalino.

A planície costeira do Paraná é constituída por sedimentos de origem marinha e continental, sendo os de origem marinha aqueles compõem os cordões litorâneos formados por barreiras holocênicas e os estuários. Além disso, a distribuição dos sedimentos também está relacionada com as variações do nível relativo do mar, podendo existir regiões de deposição mais antigas (níveis do mar mais altos) ou recentes, como planícies, deltas de marés e dunas frontais (Angulo, 1992). De acordo com este mesmo autor, os sedimentos de origem marinha da planície costeira são constituídos basicamente por areias finas a muito finas, variando de moderadamente a muito bem selecionadas.

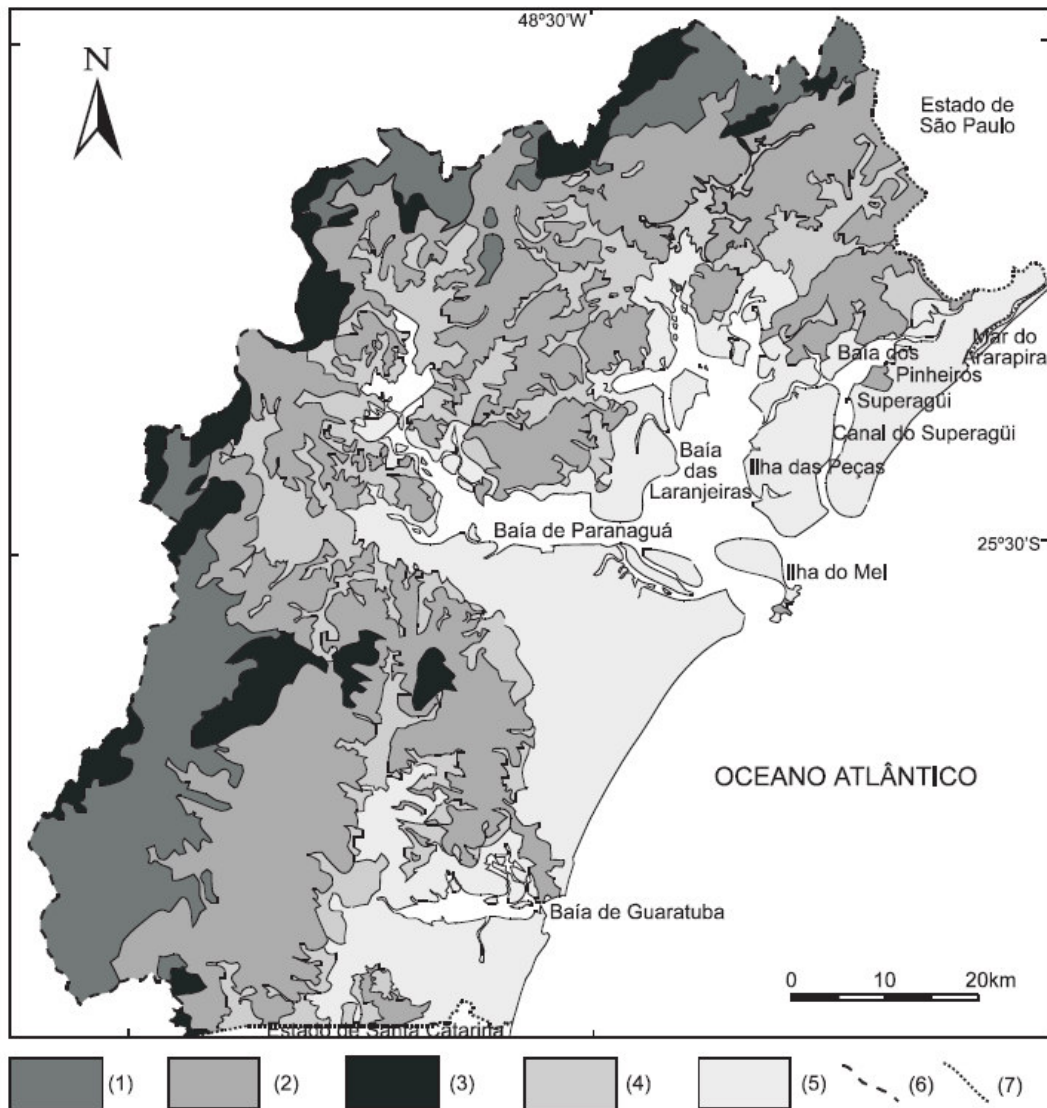


FIGURA 2. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DO LITORAL PARANAENSE: (1) PLANALTOS; (2) SERRAS ORIGINADAS POR DISSECAÇÃO DE BORDA DE PLANALTO; (3) SERRAS ORIGINADAS POR EROÇÃO DIFERENCIAL; (4) TALÚS, LEQUES ALUVIAIS E PLANÍCIES ALUVIAIS; (5) PLANÍCIE COSTEIRA; (6) DIVISOR DE ÁGUAS; (7) LIMITES DO ESTADO (FONTE: ANGULO, 1999).

A formação da planície costeira paranaense foi controlada por duas transgressões no nível do mar, a Transgressão Cananéia (ocorrida há 120.000 anos antes do presente) e a Transgressão Santos, há cerca 5.100 anos antes do presente (FIGURA 3). Essas transgressões formaram diversas unidades sedimentares, sendo elas: a barreira holocênica regressiva e transgressiva, a barreira pleistocênica, estuário holocênico, estuário pleistocênico, o canal estuarino holocênico, sedimentos continentais cenozóicos e o embasamento cristalino (Lessa *et al.*, 2000).

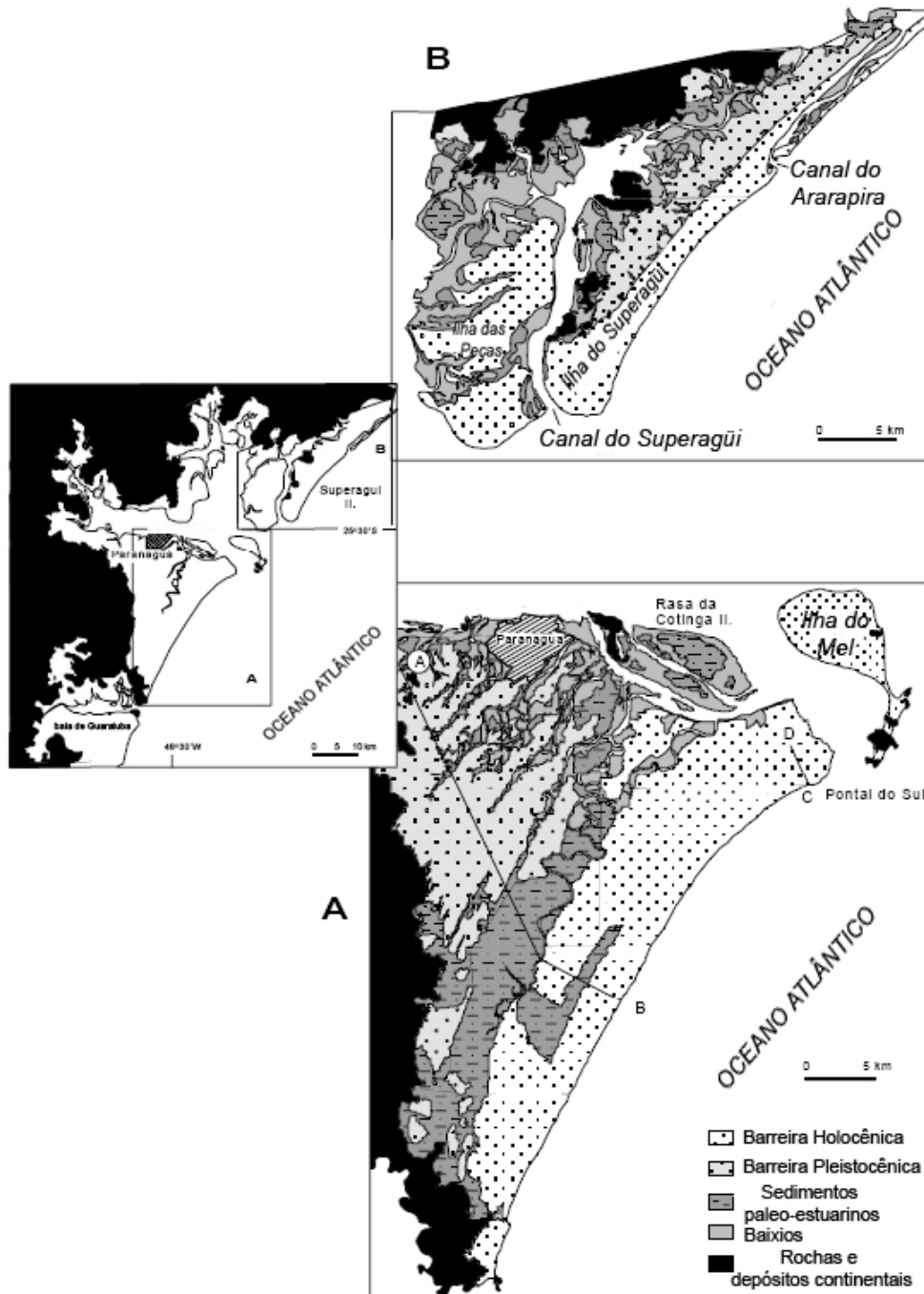


FIGURA 3. MAPA GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DO PARANÁ (FONTE: LESSA ET AL., 2000).

O litoral norte de Santa Catarina possui uma planície costeira bem desenvolvida, porém de menor extensão quando comparada a do estado do Paraná, com aproximadamente 12 km no município de Itapoá (Angulo, 2004). De acordo com este autor, as rochas do embasamento cristalino da Serra do Mar



## 3.2 A PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA

### 3.2.1 Características gerais

A plataforma continental brasileira é extensa e de gradiente suave até o talude continental (Solewics, 1989). Sua largura varia de 330 km na foz do rio Amazonas a 8 km na região de Salvador. O seu limite externo encontra-se a uma profundidade média de 130 m, sendo que as menores profundidades (~40 m) estão na cidade de Natal (RN) e na foz dos rios São Francisco (AL/SE) e Paraíba do Sul (RJ). Já as profundidades máximas (~180 m) estão próximas as cidades de Santos (SP) e Tramandaí (RS) (Schmiegelow, 2004).

Legalmente, os limites das águas brasileiras e do seu leito marinho são estabelecidos pela Lei nº 8.617 de 4 de janeiro de 1993, de acordo com a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM). Suas principais divisões são: o Mar territorial (que se estende por 12 milhas náuticas a partir da linha de costa) e a Zona Econômica Exclusiva – ZEE, que se estende a partir das 12 milhas iniciais até 200 milhas náuticas (CIRM, 2008).

A plataforma continental brasileira abriga diversos tipos de recursos vivos e não vivos. Por ser uma região que recebe nutrientes provenientes da drenagem continental, associadas a pequenas profundidades e alta intensidade luminosa, a produtividade primária é favorecida. Isso faz com que a região seja rica em biomassa e biodiversidade. Além disso, como a plataforma continental recebe grande parte da drenagem continental, diversos tipos de minerais economicamente importantes podem ser transportados e depositados junto com os sedimentos.

A abundância de recursos faz com que a plataforma continental brasileira tenha grande importância econômica. A pesca artesanal costeira e oceânica, a pesca industrial oceânica e demersal de profundidade e a aquicultura são as principais atividades embasadas nos recursos vivos da plataforma continental (Hazin *et al.*, 2005). Já os principais recursos não vivos da plataforma são: granulados (cascalhos, areias e argilas), minerais pesados (Diamante, Ilmenita, Cassiterita, Monazita e Zircão), Fosforita, carvão mineral, petróleo, gás natural e hidrato de gás (Silva & Mello, 2005).

### 3.2.2 A plataforma continental sul-sudeste do Brasil

A plataforma continental da região sul-sudeste do Brasil foi estudada por Rocha *et al* (1975) a partir de 650 amostras superficiais de sedimento. Esses autores encontraram três principais províncias de sedimentos, sendo a areia predominante na plataforma interna, areia misturada com finos (siltes e argilas) na plataforma média e exclusivamente finos misturados a carapaças de foraminíferos próximas a elevação continental. Os sedimentos finos na plataforma média podem ser indicativos de paleolagunas formadas em períodos de nível do mar mais baixo.

O programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE) teve como o objetivo caracterizar a topografia, refletividade e composição do substrato do Cabo de São Tomé - RJ ao Arroio Chuí - RS (Figueiredo Jr. & Madureira, 2004). A partir de 3.036 amostras superficiais e de oito levantamentos batimétricos, o programa identificou que a plataforma continental interna é composta basicamente de areia, sendo as lamas concentradas na região central da região e em frente à Baía da Guanabara/RJ (FIGURA 5) (Figueiredo Jr. & Madureira, 2004).

Para o litoral do Paraná e norte de Santa Catarina, esses autores identificaram que a granulometria dos sedimentos da plataforma continental é constituída de areia na sua parte mais interna, sendo a região mais externa composta por lama cascalhosa e lama. A plataforma continental é quase que em sua totalidade composta por sedimentos de origem litoclástica, possuindo uma faixa biolitoclástica que acompanha a quebra da plataforma.



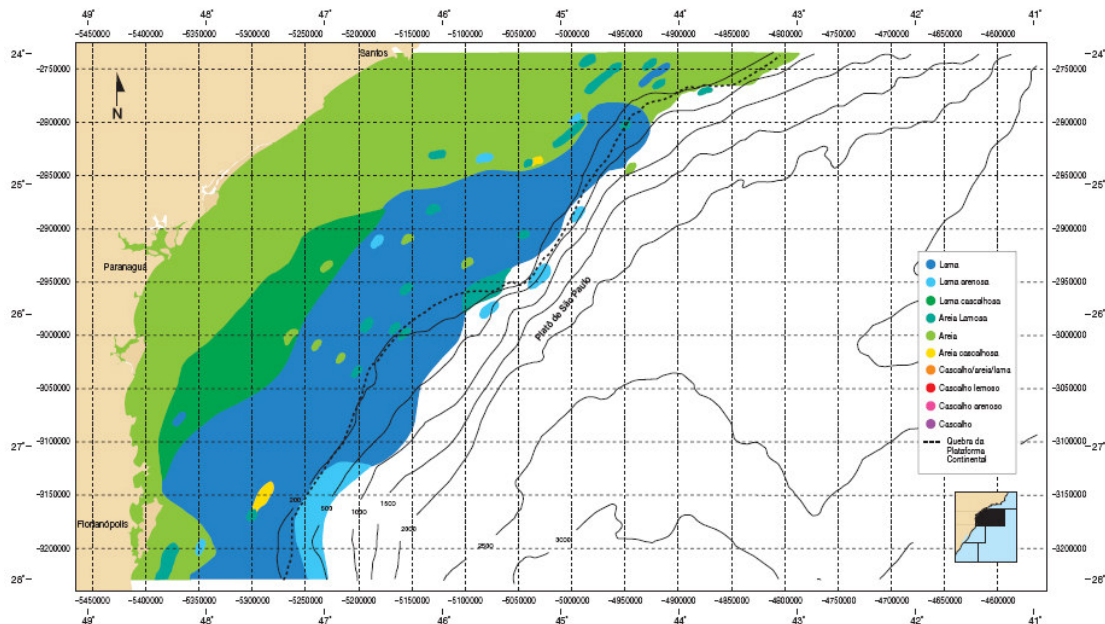


FIGURA 5. MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS SEDIMENTOS E BATIMÉTRICO DA REGIÃO SUDESTE/SUL DO BRASIL ATÉ A QUEBRA DO TALUDE (FONTE: FIGUEIREDO JR. & MADUREIRA, 2004)

Conti & Furtado (2006) estudaram a geomorfologia da plataforma continental do estado de São Paulo, da região de Cananéia (SP) a Ilha Grande (RJ). Esses autores encontraram feições relacionadas às oscilações no nível relativo do mar durante o período Quaternário como faixas de declives (associadas a estabilizações do nível do mar) e paleovales, sendo três conjuntos de feições em profundidades superiores a 100 m (depósitos de algas calcárias) e outros três indicativos de estabilização do nível do mar (entre 20 e 75 m de profundidade).

A ocorrência de paleocanais na plataforma paulista pode ser um possível prolongamento dos canais de drenagem atuais, se correlacionando com suas desembocaduras. O ângulo médio de inclinação da plataforma foi de  $0.04^\circ$  e os sedimentos tornam-se mais finos em direção ao talude. A desembocadura dos rios da região e a exposição às ondas oceânicas também se mostraram representativos da distribuição dos sedimentos pela plataforma (Conti & Furtado, 2006).

Veiga (2005) realizou a caracterização da plataforma continental interna rasa paranaense (entre os municípios de Pontal do Paraná/PR e Matinhos/PR) a partir da amostragem de sedimento superficial (granulometria e estruturas

sedimentares superficiais), batimetria, sonar de varredura lateral e sondagens a partir de mergulho autônomo.

Este mesmo autor identificou que a granulometria da área estudada é composta predominantemente por areia fina, com corpos de areia média aos 10 e 15 m de profundidade (FIGURA 6). Próximo a costa também ocorreu a presença de areia muito fina com teores de finos (silte e argila) entre 10 e 40%.

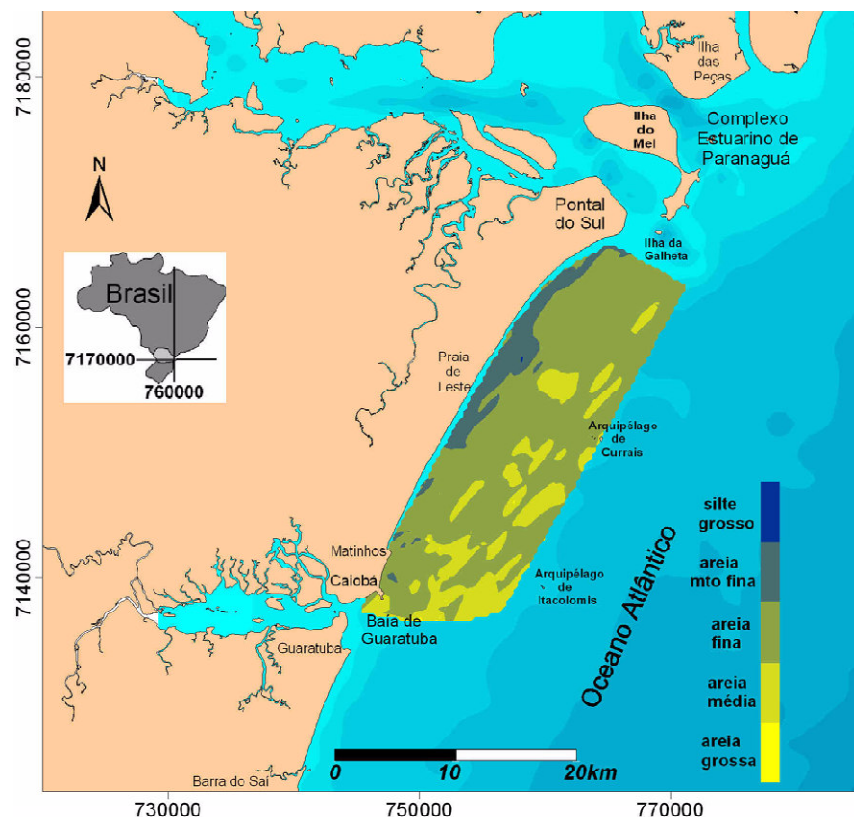


FIGURA 6. MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS SEDIMENTOS DA PLATAFORMA INTERNA ENTRE OS MUNICÍPIOS PARANAENSES DE MATINHOS E PONTAL DO PARANÁ (FONTE: VEIGA, 2005).

Foram identificadas regiões com a presença de arenitos praias ou *beachrocks* nas profundidades de 18, 21, 23, 27 e 33 m. Datações de  $^{14}\text{C}$  indicaram que as rochas encontradas na isóbata de 18 m foram formadas em um ambiente praias de 8.5 mil anos A.P., já a rocha encontrada na isóbata de 33 m data de ~25.000 anos A.P. (Veiga, 2005). A morfologia do fundo na plataforma interna paranaense está relacionada ao sistema deposicional da planície costeira adjacente, respondendo às mudanças no nível relativo do mar durante o Quaternário (Veiga, 2006).

Santos Filho & Lamour (2009) realizaram a caracterização da inclinação da plataforma continental paranaense e norte catarinense entre as profundidades de 12 a 60 m, a partir da análise de similaridade entre perfis batimétricos transversais a linha de costa. A inclinação média da plataforma é de  $0,062^\circ$ , sendo a mínima  $0,039^\circ$  e a máxima  $0,1^\circ$ . Os setores com maior inclinação ( $\sim 0,08^\circ$ ) estão localizados próximos a ilha de São Francisco do Sul (SC) e os de menor inclinação ( $\sim 0,04^\circ$ ) então localizados na região próxima a Ilha do Cardoso (SP).

### 3.3 CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS

#### 3.3.1 Ondas

De uma maneira geral, as medições dos parâmetros de onda (altura máxima, altura significativa, período médio e direção) para a região de plataforma continental do estado do Paraná são pontuais e com série temporal curta. O principal levantamento foi realizado em 1982 entre os meses de agosto e dezembro. Segundo este levantamento, a direção de ondas varia entre  $74^\circ$  e  $147^\circ$ , com as maiores alturas dos quadrantes de ESE e SE (Tabela 1). O período médio mensal entre 11,96 e 16,85 segundos e a altura máxima mensal registrada de 2,35 m no mês de agosto e 3,95 m no mês de Setembro (Portobrás, 1983a, *apud* Angulo, 1992; 1999)

TABELA 1: VALORES DE ALTURA MÁXIMA, ALTURA SIGNIFICATIVA, PERÍODO MÉDIO E DIREÇÃO DAS ONDAS PARA O PERÍODO DE 21 DE AGOSTO DE 1982 A 21 DE JANEIRO DE 1983

Parâmetros	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Altura máxima (m)	2,35	3,95	3,20	2,65	3,50
Altura significativa (m)	1,58	2,54	2,04	1,49	2,13
Período médio (s)	16,53	10,73	12,00	9,80	12,00
Direção	-	$112^\circ$	$133^\circ$	$140^\circ$	$123^\circ$

(FONTE: PORTOBRÁS, 1983a, *apud* ANGULO, 1992; 1999)

As alturas de onda atingiram até 0,5 m com períodos de 7 segundos (para as maiores ondas) e 12 segundos (para as menores ondas) no verão e 0,3 m com um período da ordem de 5 segundos no inverno foram encontrados para a desembocadura sul do CEP, no setor interno do Canal da Galheta (Marone *et al.*, 1997).

### 3.3.2 Massas de água, correntes oceânicas e de deriva

A principal corrente oceânica da costa brasileira é uma corrente de contorno oeste denominada de Corrente do Brasil. Essa corrente é formada na latitude de 10°S aproximadamente, sendo um ramo da Corrente Sul Equatorial que segue paralela a costa em direção ao sul (sul/sudoeste sobre a plataforma continental) (Castro *et al.* 2006). Segundo estes autores as principais massas d'água presentes sobre a plataforma continental brasileira são:

- Água Tropical (AT): água predominante sobre a plataforma continental (de 0 a 200 m), caracterizada por ser quente ( $T > 20^{\circ}\text{C}$ ) e salina ( $S > 36$ ). Sua orientação acompanha a Corrente do Brasil;
- Água Central do Atlântico Sul (ACAS): água predominante próxima a quebra da plataforma continental (profundidades entre 200 e 500 m). É caracterizada por ser relativamente fria ( $T < 20^{\circ}\text{C}$ ) e;
- Água Costeira (AC): água proveniente da drenagem continental. Caracterizada por ser menos salina ( $S < 34$ ).

Dependendo do regime de ventos, podem ocorrer penetrações da ACAS sobre a plataforma, explicado pelo fenômeno de ressurgência costeira, no qual os ventos deslocam as camadas superficiais dominadas pela AT no sentido do oceano, permitindo que a camada mais densa atinja a superfície (Castro *et al.* 2006).

Já nas regiões próximas a costa, a principal corrente é a deriva litorânea. Tal corrente é preferencialmente para Norte nas áreas adjacentes a desembocadura do CEP (Marone *et al.*, 1995). O aumento da energia das ondas de quadrante S/SE que incidem sobre a costa é responsável pela amplificação dessa corrente (Noernberg, 2001). Apesar disso, correntes de menor intensidade podem ser observadas no sentido inverso em períodos de bom tempo, associadas a ventos predominantes do quadrante NE (Veiga, 2004).

## 4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 A REGIÃO COSTEIRA

De acordo com Shepard (1963), a classificação mais comum da região costeira é baseada em aspectos geológicos gerais (gênese tectônica, composição litogênica do embasamento, intemperismo, transporte, deposição e granulometria dos sedimentos) e nas características topográficas e geomorfológicas. Segundo este autor, as forças físicas que atuam diretamente sobre a região costeira como ondas, marés, incidência de chuvas e regime de ventos também são importantes, pois atuam como processos modeladores da costa.

Shepard (1963) classificou a região costeira em dois tipos principais: Costas Primárias e Secundárias. A divisão Primária é em relação à topografia da massa continental em contato com o mar teoricamente em repouso, sendo a sua configuração resultante de processos unicamente continentais. A divisão Secundária leva em consideração processos marinhos (abióticos e bióticos) recentes como a variação do nível relativo do mar e a formação de recifes de corais.

As Costas Primárias são subdivididas em:

A) Costas influenciadas por erosão continental: compostas por vales fluviais inundados (Rias), por costas glaciais erodidas inundadas (Fjords) e por paleo-cavidades inundadas (*Karst*);

B) Costas com deposição subaérea: compostas por deltas, planícies aluviais, costas de deposição glacial, costas de deposição eólica e costas de deslizamento;

C) Costas Vulcânicas: formadas a partir de resfriamento de lava, fragmentos expelidos por erupções ou feições causadas por explosões vulcânicas e;

D) Costas moldadas por movimentos diastróficos: são compostas por falhamentos de origem tectônica ou elevações sísmicas provenientes do fundo marinho.

A classificação Secundária é baseada em agentes abióticos ou organismos marinhos e podem ou não ter a sua origem vinculada a classificação Primária já descrita. As costas Secundárias são divididas em:

A) Costas formadas por erosão de ondas: compostas por falésias, rochas abauladas e linhas de falha (causadas pela segregação do transporte de materiais mais finos ou maleáveis pelas ondas;

B) Costas formadas por deposição marinha: geradas a partir do transporte por ondas e correntes. São compostas por praias, Ilhas barreira, baías barreira, lagunas, tómbolos, istmos, esporões e planícies praias e planícies de lama ou sapais e;

C) Costas formadas por organismos: compostas por recifes coralinos, bancos de ostras, manguezais, marismas e por recifes formados por poliquetas tubícolas (como o *Serpula vermicularis*).

#### 4.2 A PLATAFORMA CONTINENTAL: DEFINIÇÃO, TIPOS, MORFOLOGIA E SEDIMENTOS.

A plataforma continental é definida como o prolongamento submerso do continente, com pequeno grau de inclinação até a sua quebra. Ela pode ser dividida em quatro zonas: a plataforma interna, a plataforma média, a plataforma externa e o talude continental, separado da parte exterior pela quebra da plataforma (Wright, 1995).

De acordo com Wright (1995), a plataforma interna (0 a 30 m de profundidade) é a porção mais próxima ao continente, sendo regida por processos na zona de surf (ondas, marés e correntes de deriva). As ondas, no entanto, são as principais responsáveis pelo transporte e pela seleção dos sedimentos nessa região. Já a plataforma média, devido a sua maior profundidade (variando de 30 a 100 m) possui o fluxo de sedimentos dependente apenas das ondas de tempestade. Na plataforma externa, as correntes geostróficas acabam prevalecendo sobre os demais fenômenos físicos.

A quebra da plataforma é o seu limite externo e atua como zona de transição entre a parte continental e oceânica. O Talude é caracterizada por ser o local onde ocorre uma mudança abrupta na declividade (que passa da ordem de 1:1000 para 1:40) e atingindo profundidades médias de até 3.000 m (Wright, 1995). Ao pé do talude encontra-se a elevação ou sopé continental, composta por depósitos sedimentares associados a escorregamentos ou deslocamentos na borda da quebra da plataforma (Tessler & Mahiques, 2000).

Segundo Swift & Thorne (1991) pode-se distinguir três tipos de plataformas continentais: as de margens passivas, as de margens convergentes e as de promontório. As de margens passivas possuem subsidência térmica ou através de fraturas em direção ao continente. Os sedimentos são transportados para essas áreas a partir de grandes bacias de drenagens integradas.

Já nas margens convergentes a subsidência está relacionada diretamente com o processo de subducção. As suas plataformas serão menores e com terraços rochosos, mas dependendo do aporte continental, um acúmulo de sedimentos pode formar uma plataforma a partir do preenchimento das trincheiras formadas pelo processo de convergência. Nas margens de promontório a subducção ocorre devido a sucessivas impulsões e quebras da crosta continental (Swift & Thorne, 1991).

A morfologia das plataformas continentais vai variar espaço-temporalmente de acordo com o aporte de sedimentos, a tectônica da região onde está inserida, a composição do embasamento e as variações do nível do mar. A combinação desses fatores faz com que o ambiente de plataforma seja variado em relação a sua topografia (declividade, presença cânions e canais) e a composição dos sedimentos (variação da granulometria em função da exposição da plataforma a ação de ondas e correntes) (Shepard, 1963; Wright, 1995).

#### 4.3 PROCESSOS MORFODINÂMICOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL: SEDIMENTAÇÃO, EQUILÍBRIO E TRANSPORTE.

Segundo Wright (1995), a morfodinâmica da plataforma depende de processos hidrodinâmicos, atmosféricos, biológicos, geológicos, morfologia de fundo e da sua variação ao longo do tempo. Tais processos se conectam, interagindo em forma de retroalimentação.

A sedimentação da plataforma continental é resultado de processos físicos e geológicos atuantes na região em função do tempo (Swift & Thorne, 1991). De acordo com estes autores, quatro categorias de forçantes que controlam o fluxo de sedimentos nas plataformas continentais são conhecidas, sendo elas: a taxa de entrada de sedimentos do continente adjacente ( $Q$ ), o tipo desse sedimento ( $M$ ), a taxa de variação relativa do nível do mar ( $R$ ) e a taxa de dispersão dos sedimentos transportados ( $D$ ). Além disso, o transporte dos sedimentos vai ter a sua eficiência baseada na capacidade de transporte do fluido ( $P$ ). Elas são consideradas variáveis Geohistóricas.

A taxa de entrada ( $Q$ ) é função das condições climáticas da região. Áreas com maior intensidade de chuvas e com menor cobertura vegetal estão mais suscetíveis a erosão. Já em áreas desérticas a intensidade de chuvas é insuficiente para transportar o sedimento até os ambientes deposicionais adjacentes. A variação do nível relativo do mar também influencia na entrada de sedimentos, visto que em períodos com nível relativo do mar mais alto a desembocadura de grandes rios fica inundada, fazendo com que esses novos ambientes estuarinos aprisionem os sedimentos no seu interior.

O tipo de sedimento ( $M$ ) será influenciado pela proximidade com a rocha fonte e pela capacidade de transporte pela drenagem continental. O maior tamanho de grão ocorre em margens convergentes, onde o aporte é maior e o transporte é mais efetivo do que nas margens passivas. Essas, no entanto, retêm as frações mais grossas próximas as fontes, exportando com maior eficiência os sedimentos mais finos para o ambiente oceânico.

As mudanças relativas do nível do mar ( $R$ ) podem ser causadas por três fatores: variações climáticas globais (Eustasia), variações locais causadas por movimentos tectônicos e pela variação do volume de água presentes nas bacias oceânicas. As mudanças relativas do nível do mar serão mais bem abordadas na seção 4.4.

A taxa de dispersão dos sedimentos ( $D$ ) representa a eficiência do seu deslocamento pelo fundo ou suspenso na coluna de água, em resposta a capacidade de transporte do fluido ( $P$ ) por ondas, correntes causadas por vento ou diferença de densidade, correntes de maré, tempestades e fluxos de sedimentos com diferentes densidades. A gravidade também pode atuar no



transporte de sedimentos em regiões de maior declividade, através de deslizamentos e escorregamentos.

As interações entre esses fatores se relacionarão de maneira distinta no espaço e no tempo, criando diversos tipos de ambientes deposicionais interconectados. As variáveis geohistóricas demonstram a complexidade da plataforma continental. Quando uma ou mais variáveis são alteradas, então o ambiente se ajustará a um novo equilíbrio.

Segundo Swift & Thorne (1991), o equilíbrio da sedimentação na plataforma continental pode então ser dimensionado a partir de um modelo geral de sedimentação, que relaciona as variáveis geohistóricas gerando um Índice de Equilíbrio. Esse índice é resultado da seguinte equação:

$$E(d) = \frac{Q_g - kR}{P_g(h)}$$

Onde  $Q_g$  é a entrada de sedimentos de um determinado tamanho de grão ( $g$ ) em quilogramas,  $kR$  é uma relação entre o nível do mar (considerado estático para a aplicabilidade do modelo) e uma constante adimensional ( $k$ ) que converte amplitude em massa,  $P_g(h)$  é a eficiência do poder de fluido em dispersar os sedimentos com o tamanho de grão ( $g$ ) a uma determinada profundidade ( $h$ ). O índice de equilíbrio é uma relação entre o excesso de sedimentos que entra no sistema e a eficiência que o fluido possui em transportá-lo. O equilíbrio é perfeito em qualquer área da plataforma quando  $E(d) = 1$ .

As mudanças morfológicas, bem como o seu equilíbrio dinâmico, dependem do movimento do fluido nas camadas próximas ao fundo (FIGURA 7). As diferentes intensidades e direções do fluido, além da capacidade da morfologia em produzir alterações no seu movimento dependerão das condicionantes oceanográficas e meteorológicas no local. Tais condicionantes variam de acordo com a latitude, clima e do tipo de substrato (Wright, 1995).

A energia que governa as variações morfológicas do fundo é obtida através da transferência de *momentum* do fluido para os sedimentos, através de forças friccionais que vão variar de acordo com a sua granulometria e

abundância (Wright, 1995). A partir daí que surgem as variações morfológicas na plataforma continental.

Segundo este mesmo autor, a dependência do fluido em relação ao relevo da superfície sobre a qual ele se movimenta faz com que as forças de atrito sejam alteradas. Em resposta, o volume do material transportado se torna diretamente proporcional a energia gasta pelos processos hidrodinâmicos para gerar as modificações morfológicas de uma região ao longo do tempo.

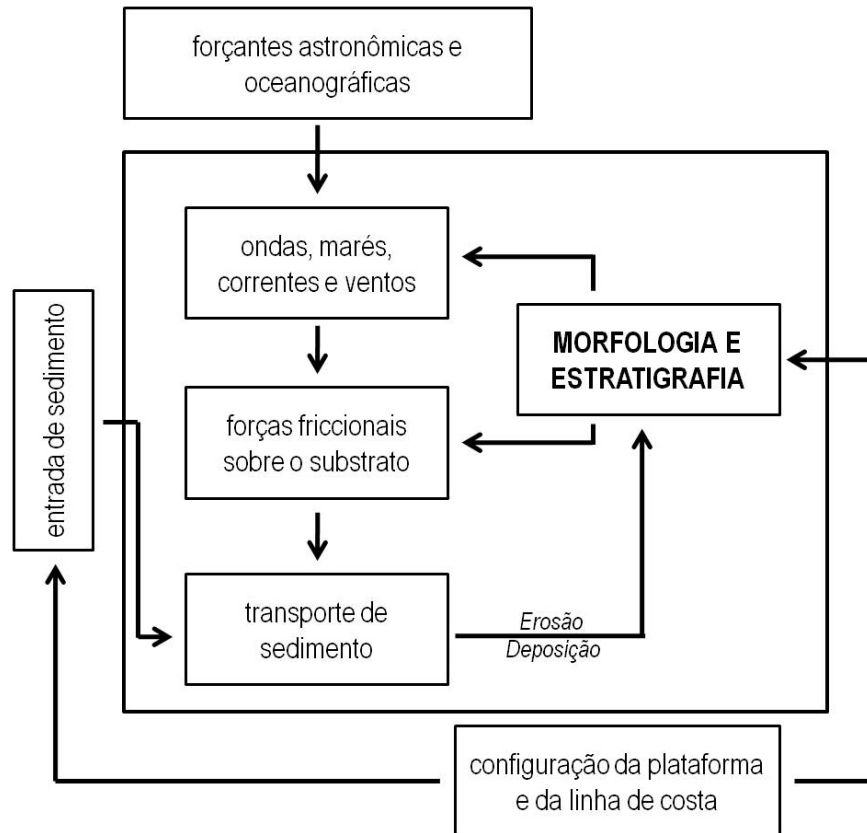


FIGURA 7. FLUXOGRAMA DE RELAÇÃO ENTRE OS ELEMENTOS RESPONSÁVEIS PELA MORFODINÂMICA DA PLATAFORMA CONTINENTAL (FONTE: WRIGHT, 1995).

Wright (1995) também discorre sobre o processo de retroalimentação em uma escala de longo período, que ocorre devido uma interação mútua entre as condicionantes hidrodinâmicas (intensidade e capacidade de transporte do fluido) e morfológicas (topografia do fundo). Essa interação tende ao equilíbrio dinâmico, até que ocorram variações significativas em uma dessas variáveis. Tais mudanças desencadeariam um novo arranjo dos atores hidrodinâmicos e morfológicos, fazendo com que o ambiente busque novamente o equilíbrio.

Wright (1995) concluiu então que as condicionantes ambientais governam o funcionamento da morfodinâmica. A configuração tectônica da plataforma e da linha de costa, a abundância e o tipo de sedimento (rochas fonte, granulometria e morfometria), a intensidade e os tipos de processos físicos atuantes no local (ondas, marés, correntes e regime de ventos) irão governar as principais variações morfológicas na região imersa.

A profundidade também é relevante, sendo inversamente proporcional a intensidade dos processos morfodinâmicos. Regiões mais rasas possuem uma complexidade morfológica maior do que áreas mais profundas devido a uma melhor eficiência da troca de *momentum* entre as forçantes hidrodinâmicas e o sedimento. Para a plataforma continental, o *momentum* é dependente de até que profundidade as ondas de superfície ou as correntes oceânicas e de deriva conseguem movimentar as partículas próximas ao fundo.

#### 4.4 VARIAÇÕES EUSTÁTICAS GLOBAIS DO NÍVEL DO MAR DURANTE O PERÍODO QUATERNÁRIO.

Diversas variações globais no nível do mar ocorreram ao longo da história geológica do planeta. Segundo Rocha-Campos & Santos (2000), tais flutuações podem ter sido causadas por quatro fatores principais: variações na incidência de radiação solar, mudanças na composição da atmosfera (acúmulo de CO<sub>2</sub> na atmosfera proveniente de erupções vulcânicas), alterações na paleogeografia do planeta (posição e tamanho das bacias oceânicas e continentes), além de fatores extraterrenos (bloqueio da radiação solar por poeira proveniente de impactos de corpos celestes).

As variações da incidência de radiação solar são geradas por fenômenos astronômicos sazonais, conhecidos como Ciclo de Milankovitch (FIGURA 8) (Rocha-Campos & Santos, 2000). Dentre eles se destacam a excentricidade da órbita terrestre (que a cada 90 mil anos muda de elíptica a circular), a variação do eixo de rotação do planeta (que oscila entre 24,5° e 21,5° a cada 41 mil anos) e a precessão dos equinócios (configuração cônica do eixo em função da atração gravitacional do Sol e da Lua a cada 21 mil anos).

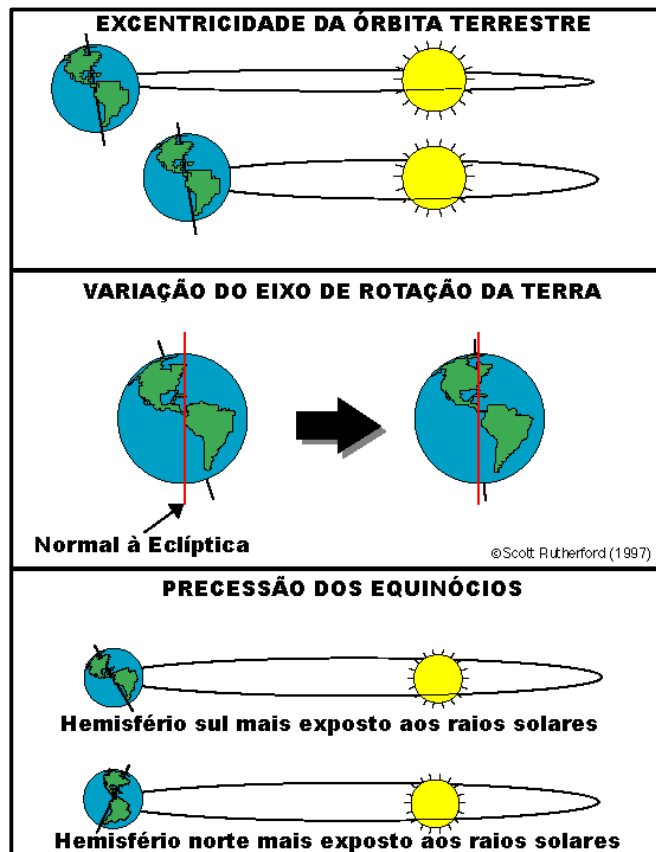


FIGURA 8. FENÔMENOS ASTRONÔMICOS RESPONSÁVEIS PELA VARIAÇÃO NA INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A SUPERFÍCIE DO PLANETA OU CICLO DE MILANKOVITCH (FONTE: RUTHERFORD, 1997).

De acordo com estes mesmos autores, o ciclo de Milankovitch é baseado no favorecimento da formação de gelo nos pólos. Nas altas latitudes, a maior massa continental no hemisfério norte ajuda no aprisionamento do gelo que por sua vez aumenta a refletância dos raios solares, amplificando o resfriamento do planeta. Alterações na circulação oceânica e atmosférica (que atuam na distribuição de calor pelo globo) também são importantes fatores nos períodos glaciais (de resfriamento) ou estufa (de aquecimento) da terra.

A formação de gelo nas altas latitudes durante os períodos glaciais retira a água dos oceanos, diminuindo o nível dos mares. Esse processo é denominado como sendo um período regressivo. Em contrapartida, durante os períodos estufa, o degelo aumenta o nível médio dos mares, sendo este denominado transgressivo (Rocha-Campos & Santos, 2000).

O período Quaternário faz parte da era Cenozóica, compreendendo duas épocas geológicas: o Pleistoceno (de 1.8 milhões de anos até 11.000 anos

atrás) e o Holoceno (11.000 anos até o presente). Registros estratigráficos na Louisiana e bacia meso-atlântica (Estados Unidos), sudeste da Austrália e no Golfo de Bohai (China) mostraram que durante o Pleistoceno o nível do mar era aproximadamente 140 m abaixo do atual. Entretanto, durante um período de 140 mil anos o nível do mar se manteve entre 40 e 90 metros abaixo do nível atual (Wright, 1995).

Durante o Holoceno, registros localizados no hemisfério sul (Angola, Argentina, Austrália, Brasil, Fiji, Polinésia Francesa e Suriname) mostraram variações de até 5m acima do nível atual (FIGURA 9) (Angulo *et al.*, 2006)

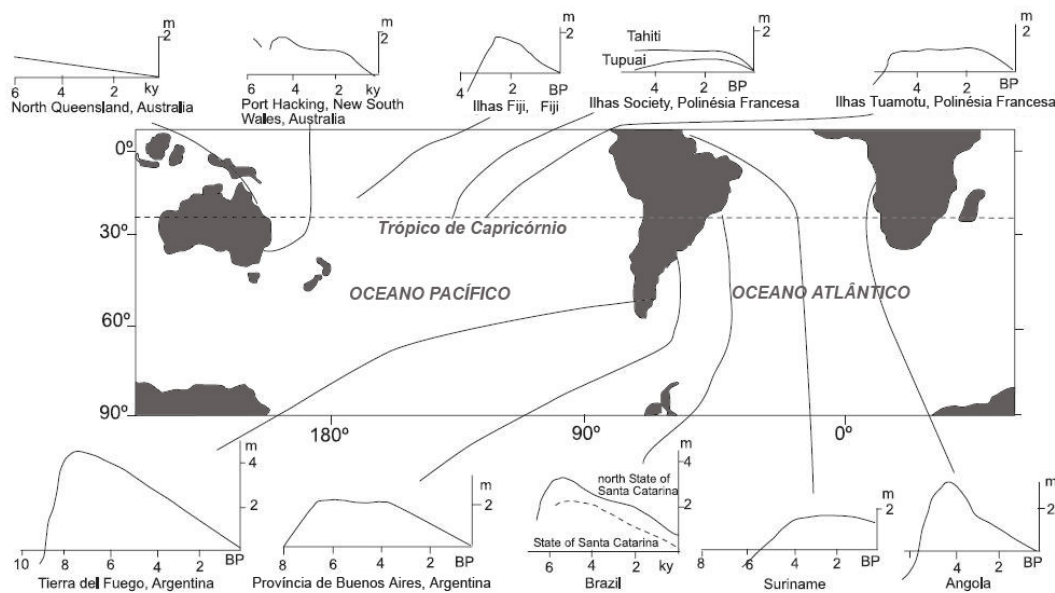


FIGURA 9. CURVAS DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR DURANTE O HOLOCENO EM DIVERSAS REGIÕES DO HEMISFÉRIO SUL (FONTE: ANGULO *ET AL.*, 2006).

Segundo Wright (1995), pode-se afirmar que os processos físicos que ocorrem sobre a plataforma interna atuaram por um período de tempo significativo sobre a região que atualmente corresponde à plataforma média. Algumas marcas desses processos podem estar preservadas na geomorfologia e na estratigrafia da plataforma média, servindo como indicativos de antigas linhas de costa.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 DADOS BATIMÉTRICOS

#### 5.1.1 Método de obtenção de dados batimétricos utilizado pela Marinha do Brasil

A Batimetria consiste na medição da profundidade pontual do fundo através do cálculo da diferença entre a emissão e a recepção de ondas acústicas refletidas pelo substrato a partir de um Ecobatímetro ou Eco-sonda. Os Ecobatímetros podem emitir sinais sonoros (com frequência menor do que 18 kHz) ou ultra-sonoros, com frequências maiores do que 18 kHz (Miguens, 1996).

Segundo Minguens (1996), os sinais acústicos emitidos pelas Eco-sondas são gerados a partir da conversão de energia elétrica em mecânica por um transdutor instalado geralmente junto ao fundo, próximo a quilha da embarcação. O sinal acústico emitido percorre o meio líquido até ser refletido pelo fundo, sendo parte absorvido pelo substrato e parte refletido novamente para a coluna de água. O sinal refletido é então captado pelo receptor do aparelho.

A medição da profundidade se dá a partir da relação entre a velocidade de propagação do sinal acústico no meio líquido e a diferença de tempo entre a sua emissão e a recepção do eco refletido pelo fundo. A profundidade é igual à velocidade do som na água multiplicada pela metade do intervalo de tempo:

$$d = C \frac{\Delta t}{2}$$

onde:

d = profundidade do local (m);

C = a velocidade de propagação do som no meio líquido ( $\text{ms}^{-1}$ )

$\Delta t$  = intervalo de tempo entre a transmissão do sinal e a recepção do eco (s)

A Folha de Bordo é o conjunto de informações pontuais de batimetria obtidas durante uma sondagem. Esta contém as coordenadas e as profundidades em planta, sendo o resultado final do levantamento batimétrico.

Em regiões estuarinas ou próximas a costa, a onda de maré pode mudar suas características (altura e período) bem como sofrer ressonância por conta da configuração geográfica da costa, tornando necessário o estabelecimento de um plano padrão para todo o levantamento. Para as Folhas de Bordo nacionais o Nível de Redução de Sondagens (NR) foi adotado como plano padrão.

Os NRs são os planos de referência das Cartas Náuticas brasileiras, ou seja, são as profundidades obtidas através de uma batimetria desconsiderando a altura das marés. Este nível é o resultado de uma relação estatística entre os valores mínimos de baixa-mar na situação de sizígia. Eles estão diretamente relacionados com o período observado das marés, ou seja, quanto maior o tempo de observação mais confiável será o valor do NR.

#### 5.1.2 Conjunto de dados

Para a caracterização da geomorfologia submarina da plataforma continental paranaense e norte catarinense foi necessária a obtenção de dados batimétricos em formato digital (.txt) contendo latitude, longitude e profundidade, os quais foram adquiridos junto a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Foram utilizadas duas folhas de bordo com diferentes datum, referentes aos anos de 1960 (da ilha do Cardoso; SP a baía de Guaratuba; PR) e 1972 (da baía de Guaratuba; PR a Barra do Sul; SC).

As informações batimétricas obtidas fazem parte do acervo do Projeto REMPLAC (Avaliação do Potencial Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira e Áreas Oceânicas) do Ministério da Marinha, Ministério de Minas e Energia e Ministério do Meio Ambiente. O REMPLAC tem como objetivo gerar informações sobre os recursos minerais da Plataforma Continental Jurídica Brasileira a partir de levantamentos geológicos e geofísicos sistemáticos das áreas de interesse (CIRM, 2008).

As informações foram transformadas em planilha no *software* EXCEL 2007 e em seguida o *software* GEOCALC 3.9 foi utilizado para transformar o sistema de coordenadas geográficas para UTM Sul e o datum horizontal de WGS 1984 para SAD 1969. Essa transformação foi necessária para que as informações fossem padronizadas com a base cartográfica utilizada pelo Laboratório de Oceanografia Geológica (LOGEO-UFPR).

Após a padronização do sistema de coordenadas, as informações foram plotadas no *software* ESRI ARCGIS 9.2, explicitando o caminho percorrido pelo navio durante a realização das sondagens e, conseqüentemente, a área de abrangência do levantamento (FIGURA 10). Em seguida foram estabelecidos os polígonos que representam o recobrimento de cada batimetria, colocados sobre um mapa base contendo a linha de costa dos estados do Paraná e Santa Catarina. A área total do recobrimento foi de aproximadamente  $9,8 \times 10^5 \text{ km}^2$ .

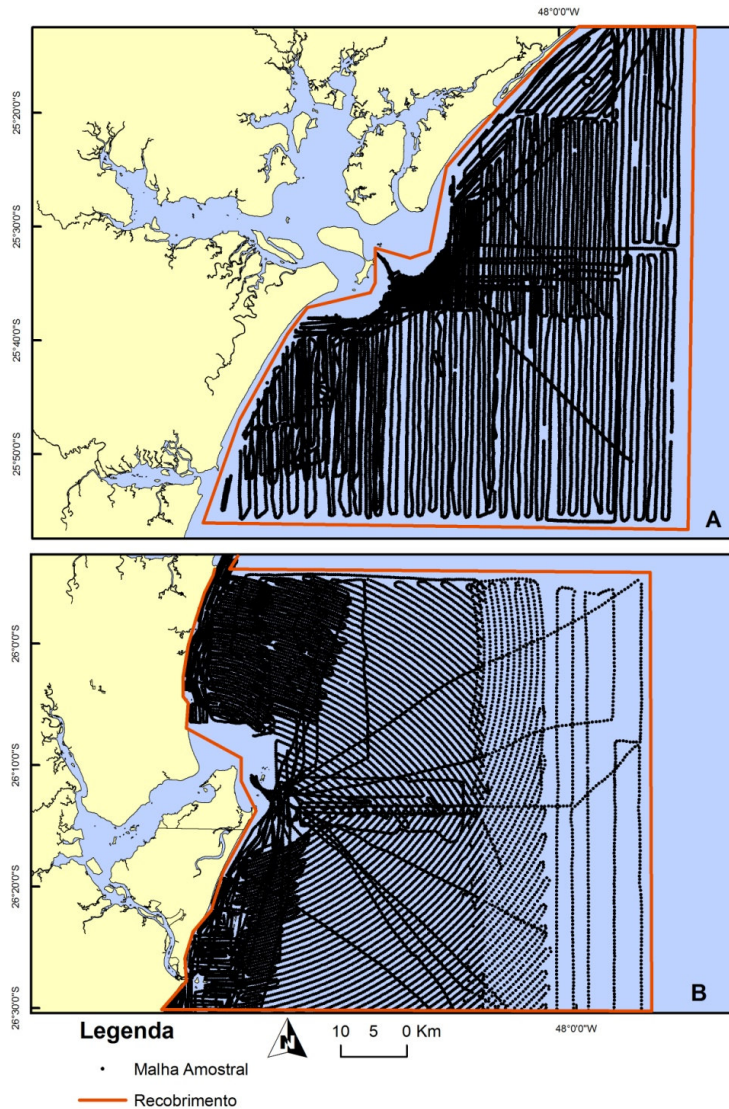


FIGURA 10. ÁREAS DE RECOBRIMENTO DAS FOLHAS DE BORDO DE 1960 (A), QUE ABRANGE DA ILHA DO CARDOSO (SP) À BAÍA DE GUARATUBA (PR), E 1972 (B) QUE ABRANGE DA BAÍA DE GUARATUBA (PR) À BARRA DO SUL (SC).



## 5.2 GEOPROCESSAMENTO

Segundo Booth (2000), interpolação é a atribuição de valores medidos na natureza a células que compõe uma imagem (imagens RASTER). Esses valores podem ser extrapolados a regiões não medidas através de algoritmos matemáticos. Cada tipo de interpolador possui um algoritmo específico, que vai alterar a maneira de como a superfície será representada (FIGURA 11).

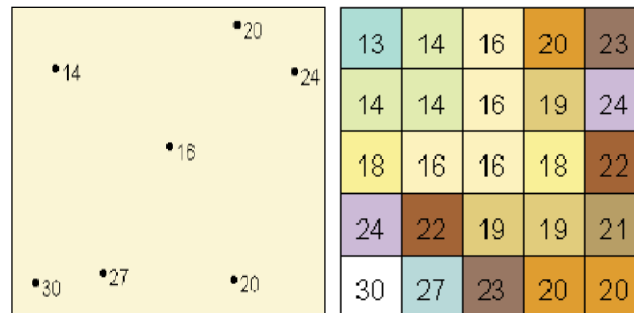


FIGURA 11. COMPOSIÇÃO DE UMA IMAGEM RASTER EM FUNÇÃO DOS VALORES OBTIDOS EM CAMPO (FONTE: BOOTH, 2000).

A grade triangular TIN (*Triangular Irregular Network*) representa uma estrutura vetorial que representa a superfície a partir de faces triangulares interligadas (FIGURA 12). Para cada vértice do triângulo são estabelecidos os valores de latitude, longitude e profundidade (Santos, 2001).

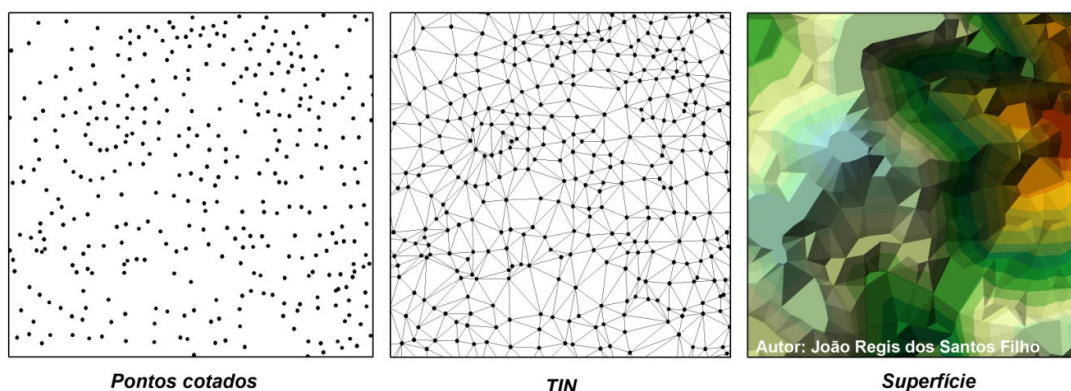


FIGURA 12. COMPONENTES DE UMA SUPERFÍCIE FORMADA POR INTERPOLAÇÃO TIN.

A mínima curvatura (*spline*) é uma interpolação que utiliza uma função matemática para reduzir o tamanho do raio de influência entre cada ponto amostrado, gerando uma superfície RASTER mais suavizada. A Mínima

Curvatura de Tensão permite controlar a rigidez da curva em função do fenômeno a ser interpolado. Ela cria valores menos suavizados, mas mantém os valores da superfície o mais próximos dos valores originais coletados (Booth, 2000).

Os MDEs foram gerados no ambiente SIG a partir da união das planilhas contendo as informações dos dois levantamentos. O resultado foi uma única malha de pontos espacializados. Em seguida dois arquivos, um TIN e um RASTER, foram gerados utilizando-se a função *3D Analyst*. A partir destes arquivos, o SIG permitiu realizar as demais análises espaciais (mapa de declividade e perfis batimétricos) na função *Spatial Analyst*.

O mapa de declividade (*slope*) é elaborado com base no cálculo da taxa máxima de mudança do ângulo de inclinação entre cada célula e seus vizinhos (McCoy & Johnston, 2001). O conjunto dessas informações geoespacializadas permite identificar regiões de maior ou menor inclinação em uma determinada área. Dois mapas foram elaborados a partir dos métodos de interpolação usados neste trabalho.

Os perfis batimétricos são secções no MDE que mostram variações na elevação ao longo de uma linha (interpolada previamente à superfície). Os perfis foram estabelecidos a cada 5 km, totalizando 30 perfis (FIGURA 13). Este espaçamento foi estabelecido a partir da experimentação, com o intuito de estabelecer uma distância ideal para a identificação de padrões de inclinação na plataforma. Nesta experiência, espaçamentos menores obtiveram resultados semelhantes aos encontrados com os quais foram aplicados neste trabalho.

### 5.3 CÁLCULO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA PLATAFORMA

O cálculo do ângulo de inclinação da plataforma em graus foi feito a partir da relação trigonométrica entre o eixo vertical (cateto oposto) e o horizontal (cateto adjacente) de cada perfil (FIGURA 14), considerando que o perfil se assemelha a um triângulo retângulo. Esse procedimento também foi realizado a cada 10 m de profundidade, totalizando 92 perfis (FIGURA 15). O objetivo dessa divisão foi identificar padrões de inclinação em relação a diferentes profundidades ao longo da plataforma. A orientação dos perfis foi escolhida a

partir de um ângulo de  $90^\circ$  em função de uma linha que obedece a orientação da costa.

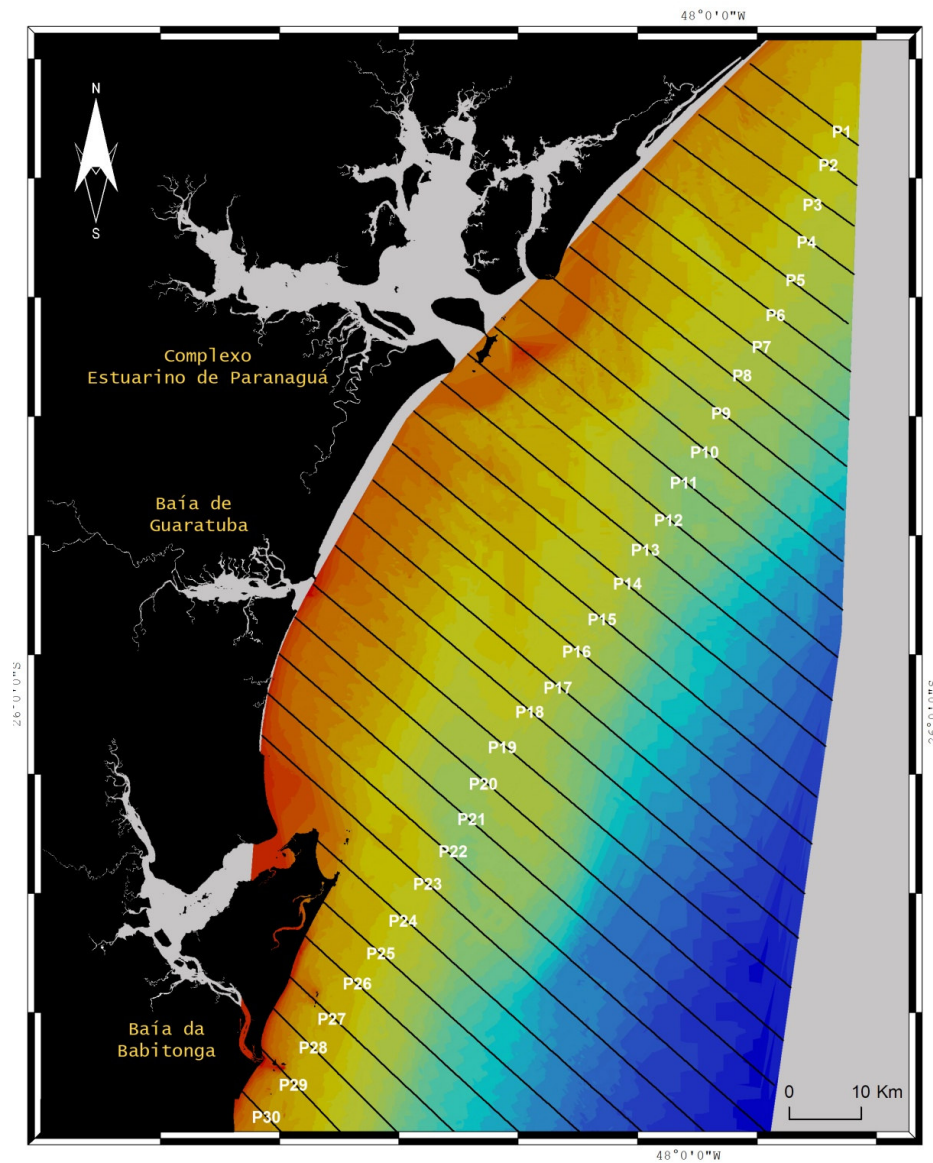


FIGURA 13. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS BATIMÉTRICOS.

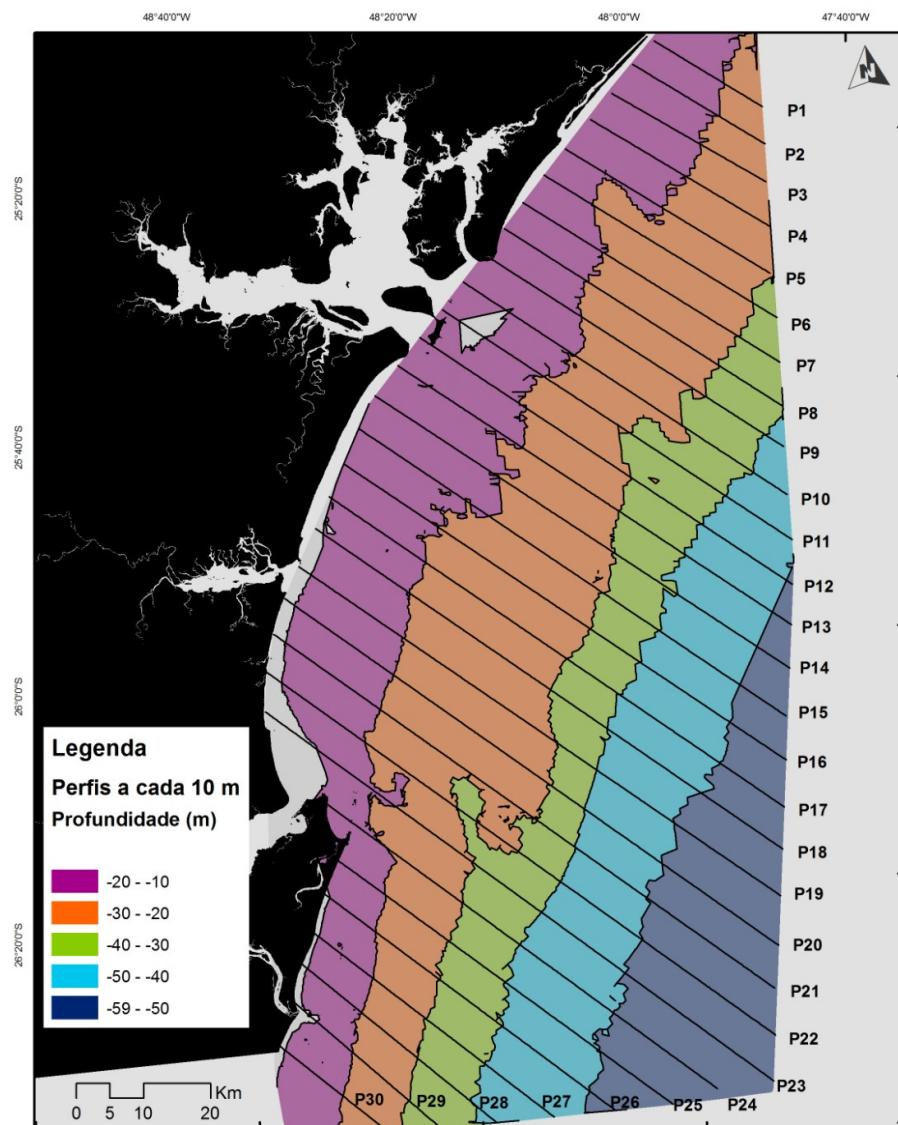


FIGURA 14. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS BATIMÉTRICOS DIVIDIDOS A CADA 10 M DE PROFUNDIDADE.

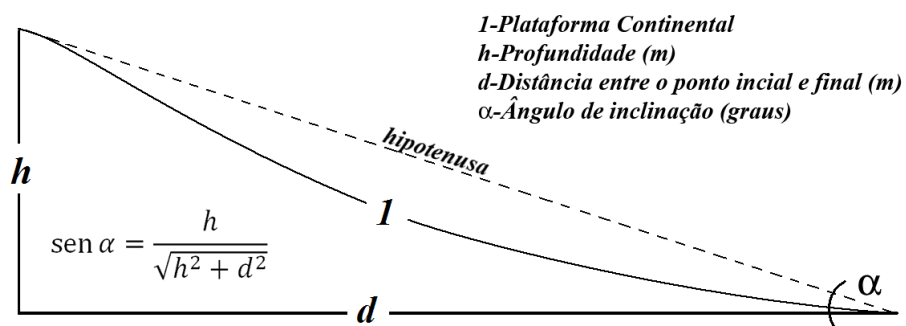


FIGURA 15. ESQUEMA DO CÁLCULO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA PLATAFORMA CONTINENTAL A PARTIR DE TRIGONOMETRIA.

Os ângulos de inclinação foram organizados em uma planilha contendo uma coluna para o número do perfil e outra para o valor do ângulo em graus. Em seguida foi utilizada a Análise de Similaridade (*Cluster Analysis*) para a identificação dos setores. A Análise de Similaridade consiste em uma ferramenta estatística baseada nas semelhanças entre diferentes amostras, com a finalidade de identificar grupos ou padrões (Mardida *et al.*, 1995).

Por tanto, a geomorfologia da plataforma continental do estado do Paraná e norte de Santa Catarina foi realizada através da seguinte metodologia (FIGURA 15): aquisição de informações batimétricas, alimentação de um banco de dados, geração de superfície TIN e RASTER a partir de uma interface SIG e em seguida a obtenção dos produtos necessários para a análise do ambiente em questão.

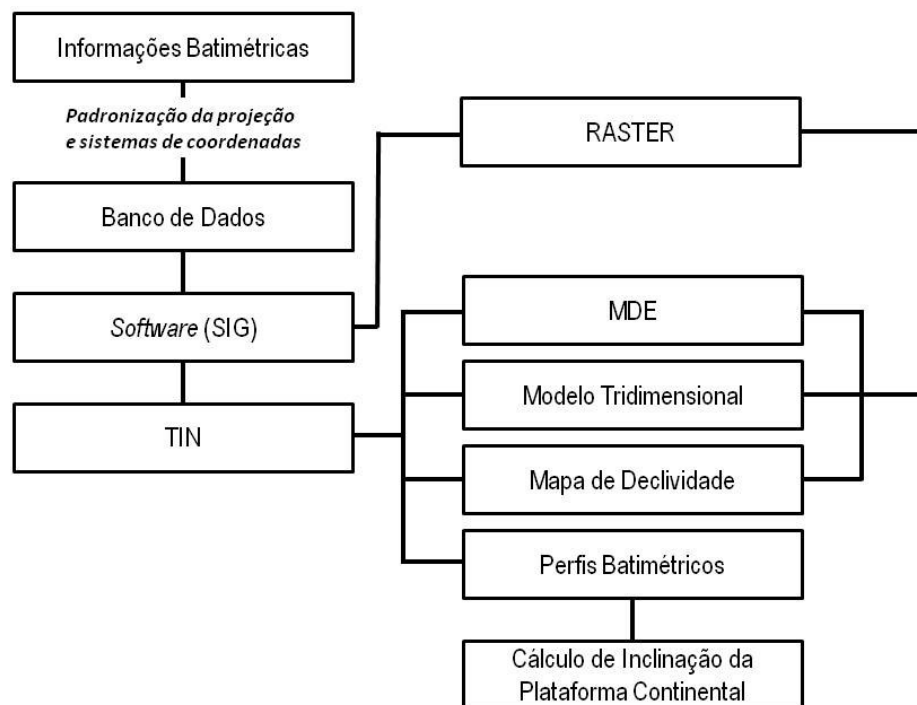


FIGURA 16. ORGANOGRAMA DO PROCESSAMENTO REALIZADO PARA CONSTRUÇÃO NOS MDES, MODELOS TRIDIMENSIONAIS, MAPAS DE DECLIVIDADE, PERFIS BATIMÉTRICOS E CÁLCULO DE INCLINAÇÃO DA PLATAFORMA CONTINENTAL.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 GEOMORFOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESTADO DO PARANÁ E NORTE DE SANTA CATARINA

O levantamento utilizado sobre plataforma continental do estado do Paraná e norte de Santa Catarina (FIGURA 16) apresentou uma área total de ~10.076 Km<sup>2</sup>, abrangendo cerca de 170 km de costa e possuindo a sua maior largura de ~85 km próximo ao município de Itapoá (SC). Dentro da sua área, cerca de 4,1% representam profundidades menores que 10 m, ~26% foram de profundidades entre 10 e 20 m, ~29% estão entre -20 e -30 m, ~13% entre -30 e -40 m, ~16% entre as isóbatas de 40 e 50 m e ~12% para profundidades maiores que 50 m. As larguras da plataforma variaram de ~5 km para os primeiros 10 m, ~12 km dos -10 aos -20 m, ~17 km entre 20 e 30 m de profundidade, ~8 km do -30 ao -40 m e ~15 Km para as profundidades maiores que 40 m.

De uma maneira geral, foi possível a identificação de dois ambientes de plataforma distintos, sendo eles a plataforma continental paranaense (da ilha do Cardoso; SP até as proximidades com a baía de Guaratuba; SC) e a plataforma continental norte catarinense (desembocadura da baía da Babitonga e ilha de São Francisco do Sul; SC). A plataforma continental paranaense é suave em relação a catarinense, possuindo menor variabilidade batimétrica em função da distância em relação à costa. Como exemplo foi observado que na plataforma do estado do Paraná as faixas isobatimétricas entre -15 m e -30 m possuem ~30 km de largura, quase duas vezes maior que a de Santa Catarina, que é de ~18 km. A plataforma continental catarinense possui maior grau de inclinação, com uma transição mais curta e homogênea, de ~10 km, entre as faixas de profundidades. As regiões que correspondem às profundidades maiores que 40 m não possuem uma diferença significativa entre dois ambientes, exceto na zona de transição entre eles. Nessa zona, localizada na latitude da ilha de São Francisco do Sul (SC), ocorre o estrangulamento da faixa de -34 m a -44 m.

Foi possível notar também uma inflexão entre as profundidades de 18 e 32 m, composta por platôs de ~14 km de extensão. A localização destes platôs

(que se estendem da frente da ilha de São Francisco do Sul; SC até ao largo baía de Guaratuba) culmina com a presença de um canal. Outra inflexão menor nessa mesma faixa de profundidade ocorre em frente a desembocadura do CEP.

Com relação às isóbatas, as profundidades menores que 10 m se afastam da costa cerca de 6,6 km nas proximidades de Itapoá (SC). Já as profundidades entre 10 e 20 m ficam próximas da costa, cerca de 7,63 km, ao largo da desembocadura do Mar da Ararapira (SP/PR). As profundidades entre 30 e 40 m se aproximam a ~33,5 km da costa na latitude da desembocadura do CEP. Esta mesma faixa de profundidade também se aproxima a ~28,3 km na região de Itapoá (SC).

Os perfis P3 e P5 (FIGURA 17) mostraram gradiente suave na configuração da plataforma, ao largo da ilha do Cardoso e da desembocadura do mar do Ararapira. No perfil P11, pôde-se observar a presença de parte do delta de maré vazante do CEP. Nos perfis P17 e P20 (FIGURA 18) foi possível verificar a influência de um canal que corta a região entre as profundidades de 20 e 30 m. No perfil P24, que fica próximo a ilha da Paz (SC), ocorreu a presença de um talude bem demarcado entre os -10 m e -20m. Nos perfis P28 e P29 (FIGURA 19) notaram-se altos topográficos referentes aos arquipélagos Tamboretes e dos Remédios, respectivamente.

Quatro classes de inclinação distintas foram observadas através da análise de similaridade entre os perfis (FIGURAS 20 e 21), sendo estas associadas às desembocaduras das baías da Babitonga (SC), de Guaratuba (PR), do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP; PR) e das zonas de transição entre elas. Tais informações foram publicadas com dados preliminares por Santos Filho & Lamour (2009), embora o esquema gráfico e mapas apresentados sejam inéditos.

A comparação das inclinações dos perfis a cada 10 m de profundidade (Figura 21) mostrou uma inclinação de ~0,059°. Na porção rasa da plataforma interna (até -20 m) a inclinação foi de ~0,065°, já na sua porção profunda (de -20 a -30 m) a inclinação foi de ~0,052°. Na plataforma média, a inclinação foi de ~0,063° até os 40 m de profundidade. Nas profundidades maiores que 40 m a inclinação foi de ~0,059°.



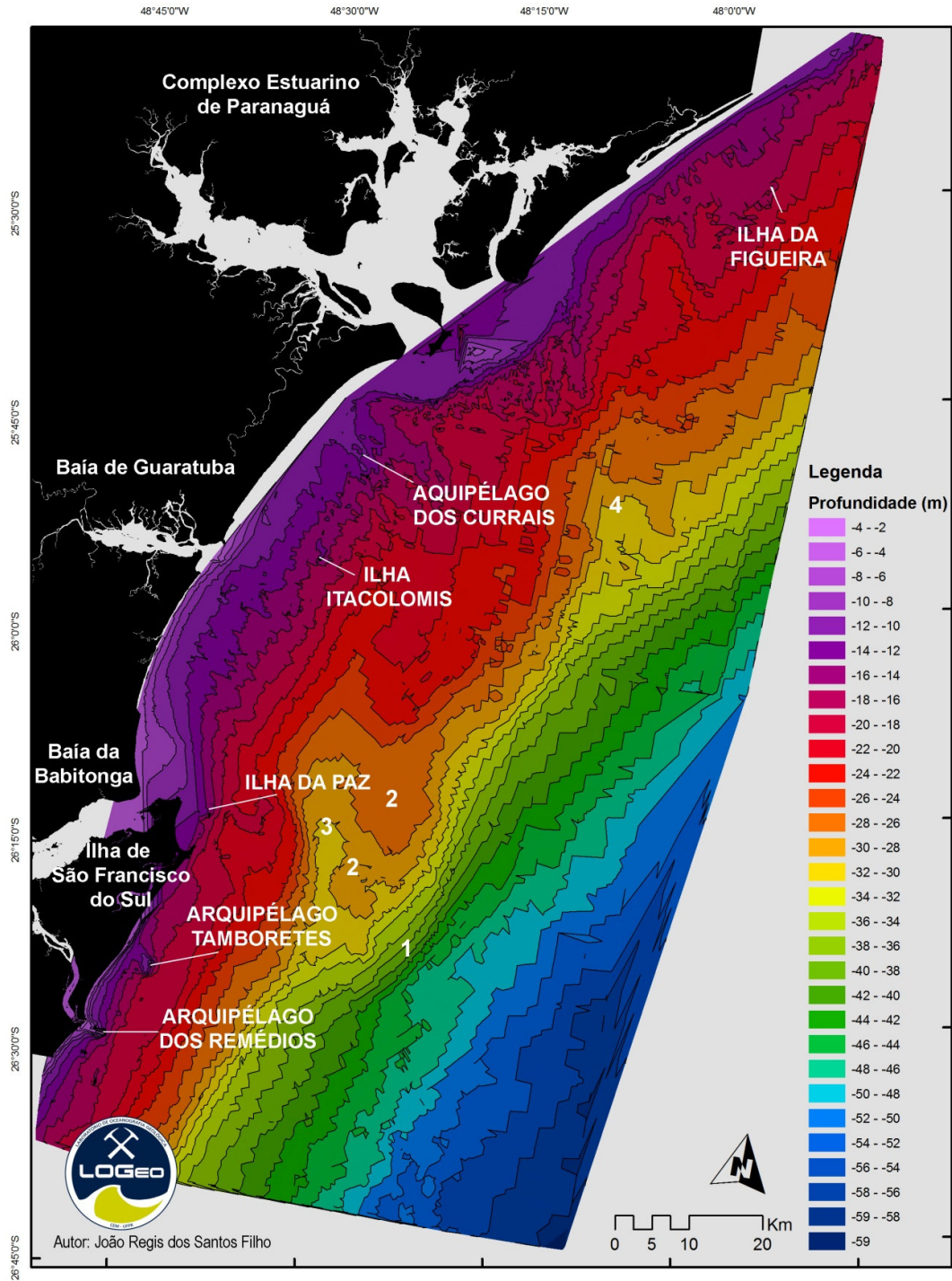


FIGURA 17. MAPA BATIMÉTRICO DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESTADO DO PARANÁ E NORTE DE SANTA CATARINA COM A LOCALIZAÇÃO DOS ESTUÁRIOS, ILHAS OCEÂNICAS E DE ALGUMAS DAS PRINCIPAIS FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS, SENDO ELAS: 1- ESTRANGULAMENTO DA FAIXA DE PROFUNDIDADES DE 34 A 44 M, 2- PLATÔS, 3- MAIOR INFLEXÃO E 4- MENOR INFLEXÃO.



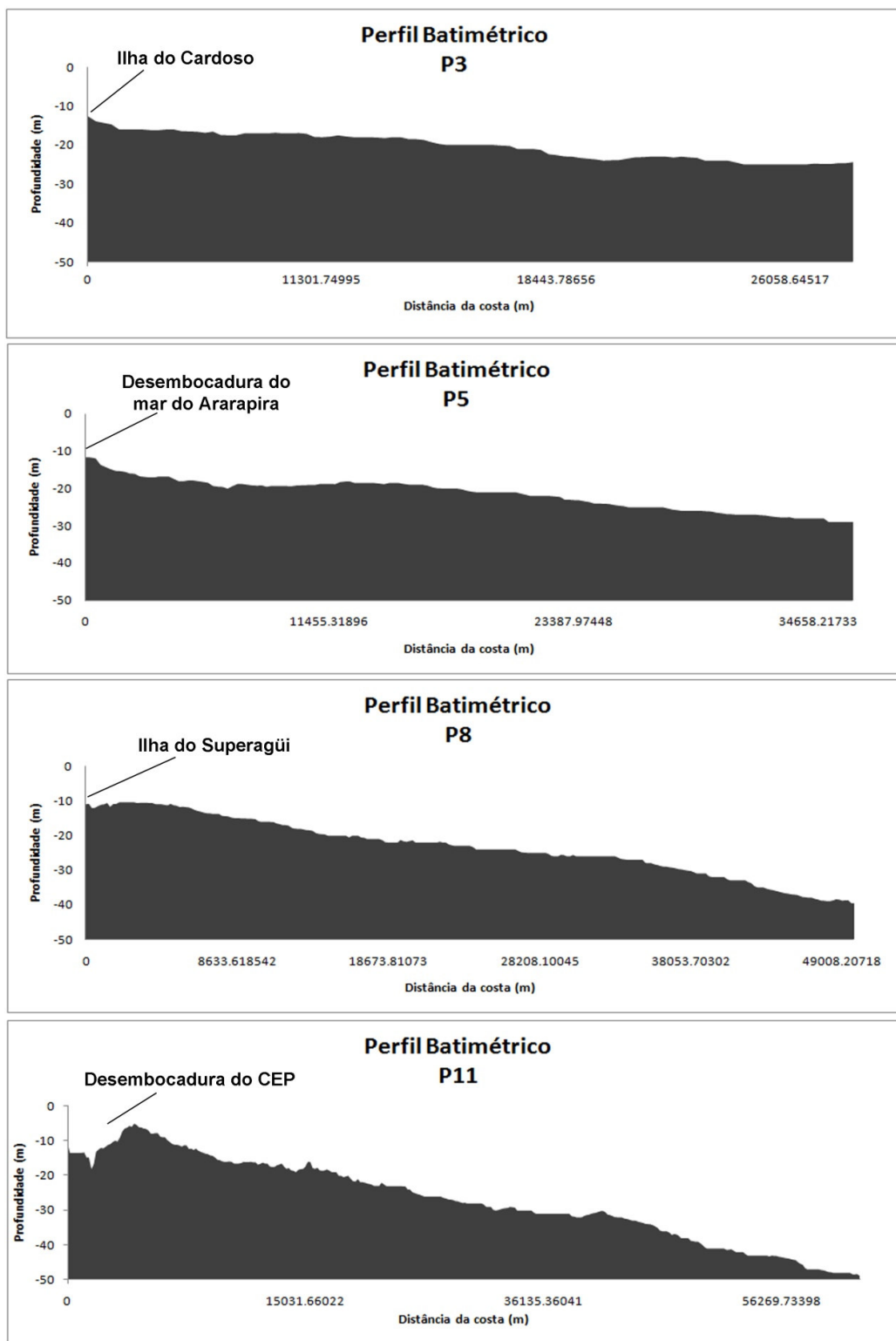


FIGURA 18. PERFIS BATIMÉTRICOS DOS PONTOS P3, P5, P8 E P11.

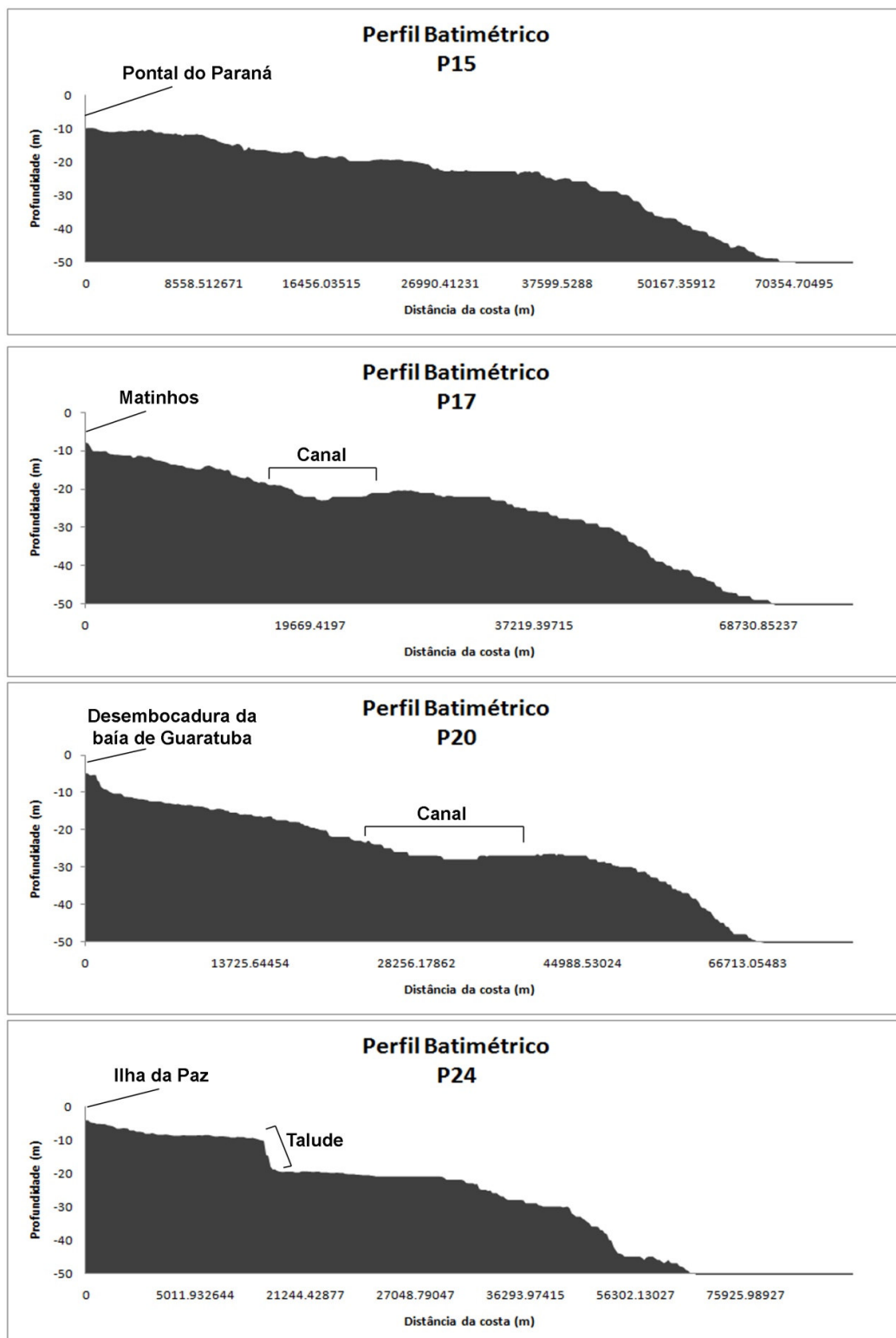


FIGURA 19. PERFIS BATIMÉTRICOS DOS PONTOS P15, P17, P20 E P24.

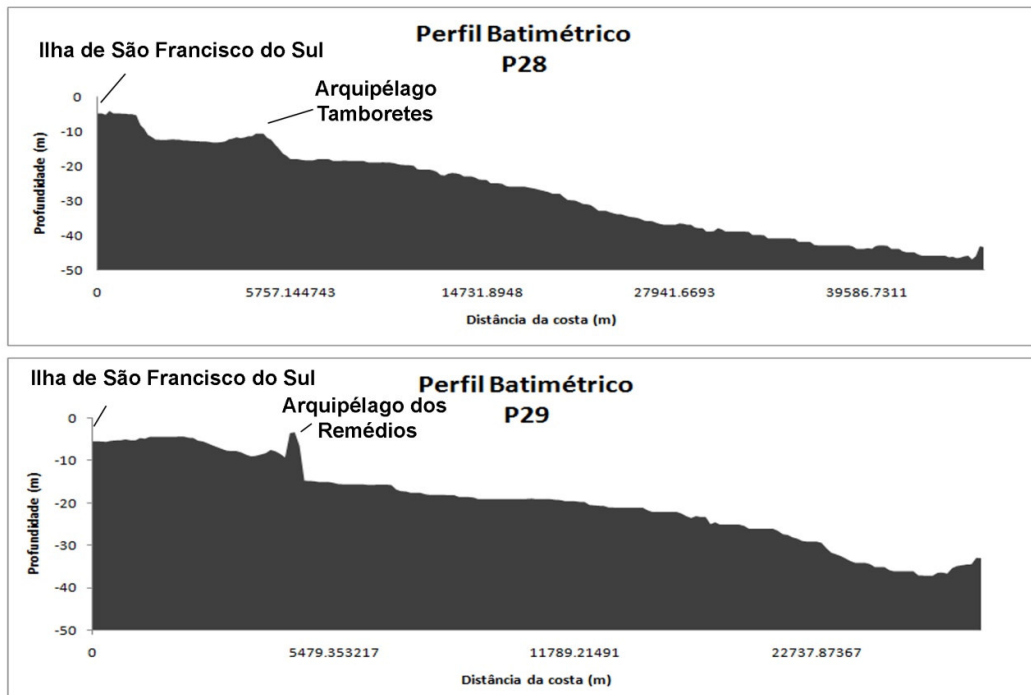


FIGURA 20. PERFIS BATIMÉTRICOS DOS PONTOS P28 E P2.

De uma maneira geral, pôde-se identificar um padrão no comportamento da plataforma interna em relação aos ângulos de inclinação dos setores (FIGURA 22). As maiores declividades se encontram no extremo sul do levantamento e nos perfis adjacentes as desembocaduras dos estuários. Essas regiões seriam então intercaladas por áreas com inclinações intermediárias. Entretanto, a plataforma média passou a apresentar um comportamento diferenciado na sua porção rasa, principalmente entre Pontal do Paraná (PR) e a baía de Guaratuba (PR). Os setores se tornaram homogêneos nas profundidades superiores a 40 m.

O mapa de áreas de inclinação criado a partir da interpretação do mapa de declividade (FIGURA 23 B) mostrou áreas com declividades maiores do que  $0,5^\circ$  nas regiões próximas as desembocaduras do CEP e das baías de Guaratuba e da Babitonga. As áreas de maior inclinação são intercaladas por sítios com declividades intermediárias, que variam de  $0^\circ$  a  $0,2^\circ$ . O mapa de inclinação gerado a partir da interpolação de mínima curvatura (FIGURA 24) também apresentou maiores declividades próximo as regiões de desembocadura e das ilhas oceânicas paranaenses e catarinenses.

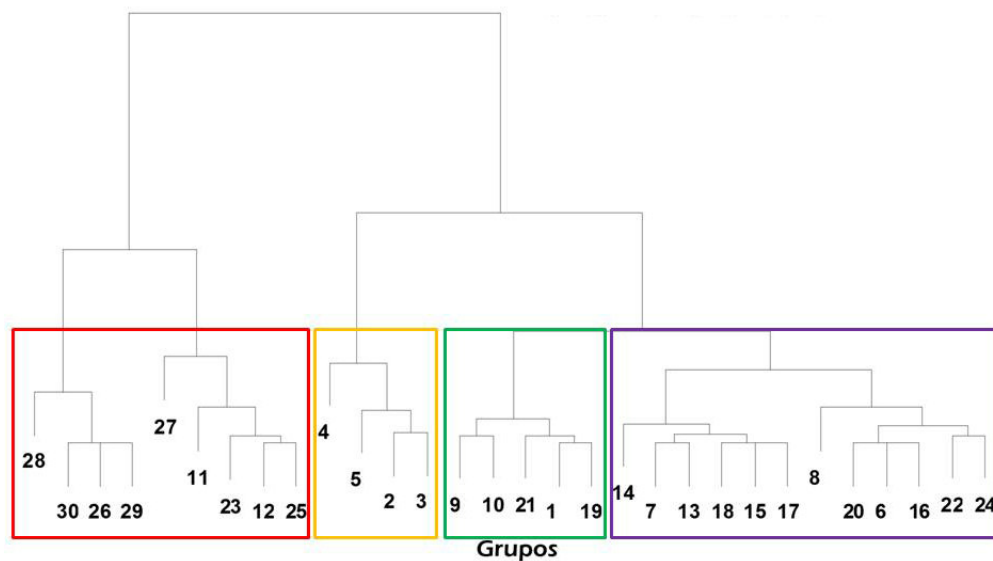


FIGURA 21. DENDROGRAMA DE SIMILARIDADE ENTRE OS ÂNGULOS DE INCLINAÇÃO DOS PERFIS COM OS QUATRO GRUPOS DE DECLIVIDADE IDENTIFICADOS.

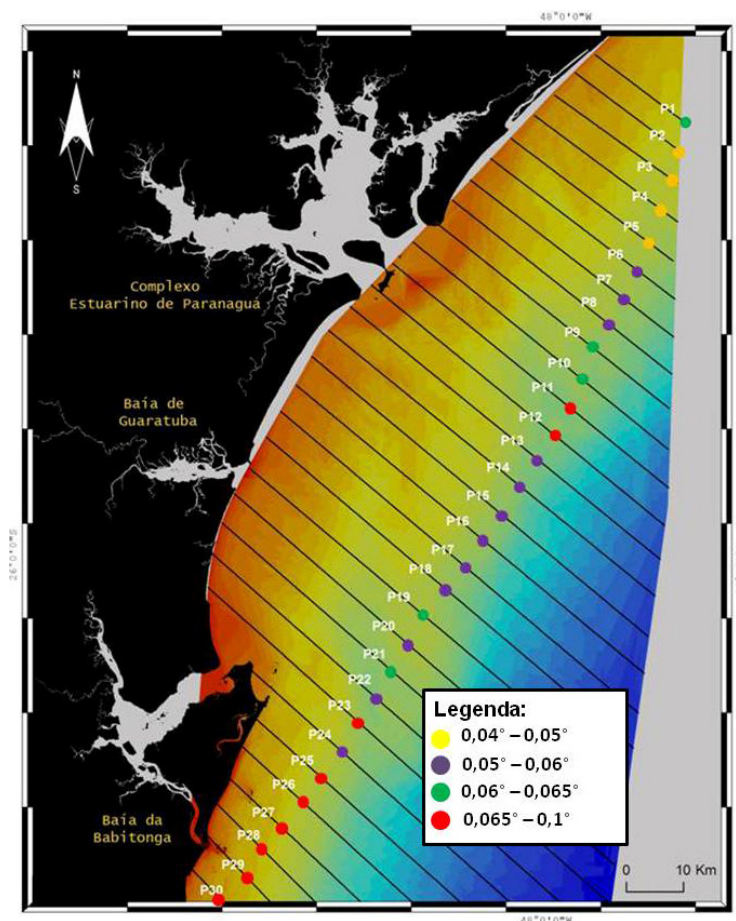


FIGURA 22. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS GRUPOS DE INCLINAÇÃO IDENTIFICADOS PELA ANÁLISE DE SIMILARIDADE ENTRE OS PERFIS.

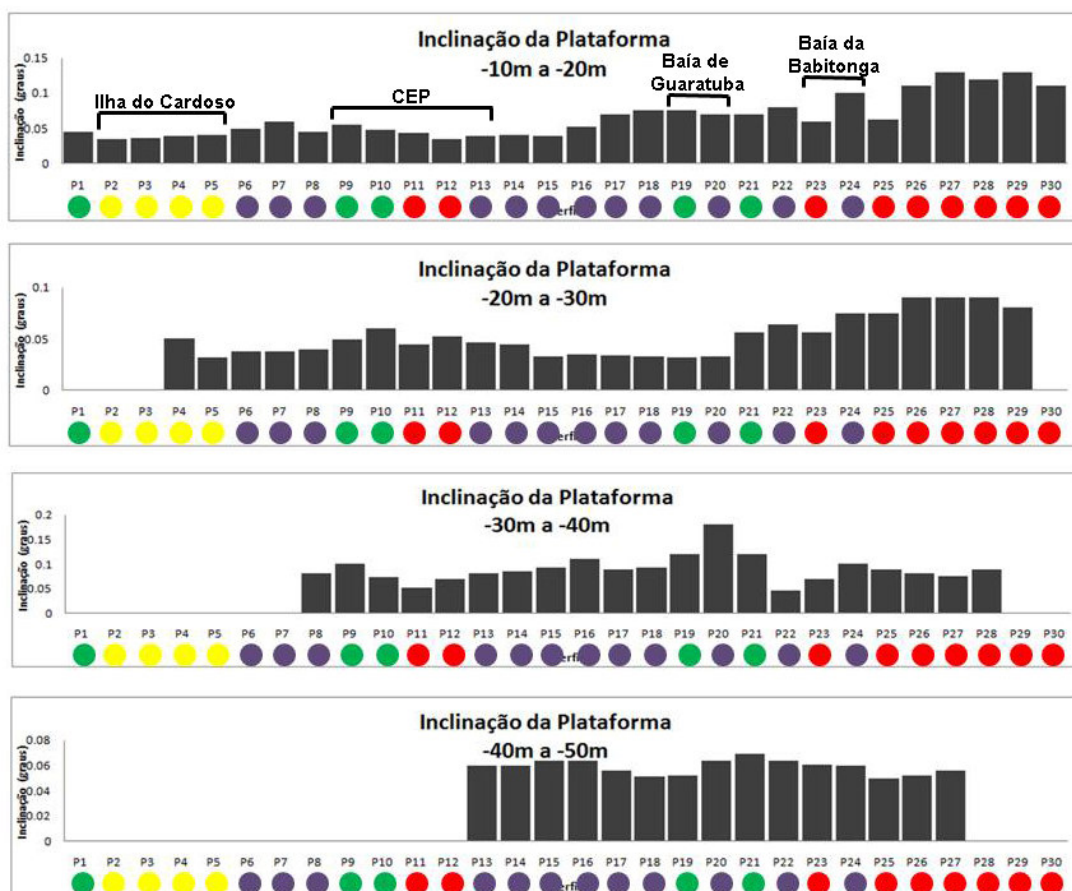


FIGURA 23. DIVISÃO DOS SETORES EM FUNÇÃO DA COMPARAÇÃO ENTRE O ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DOS PERFIS BATIMÉTRICOS DIVIDIDOS A CADA 10 M DE PROFUNDIDADE E A COMPARAÇÃO COM OS SETORES ENCONTRADOS PELA ANÁLISE DE SIMILARIDADE.

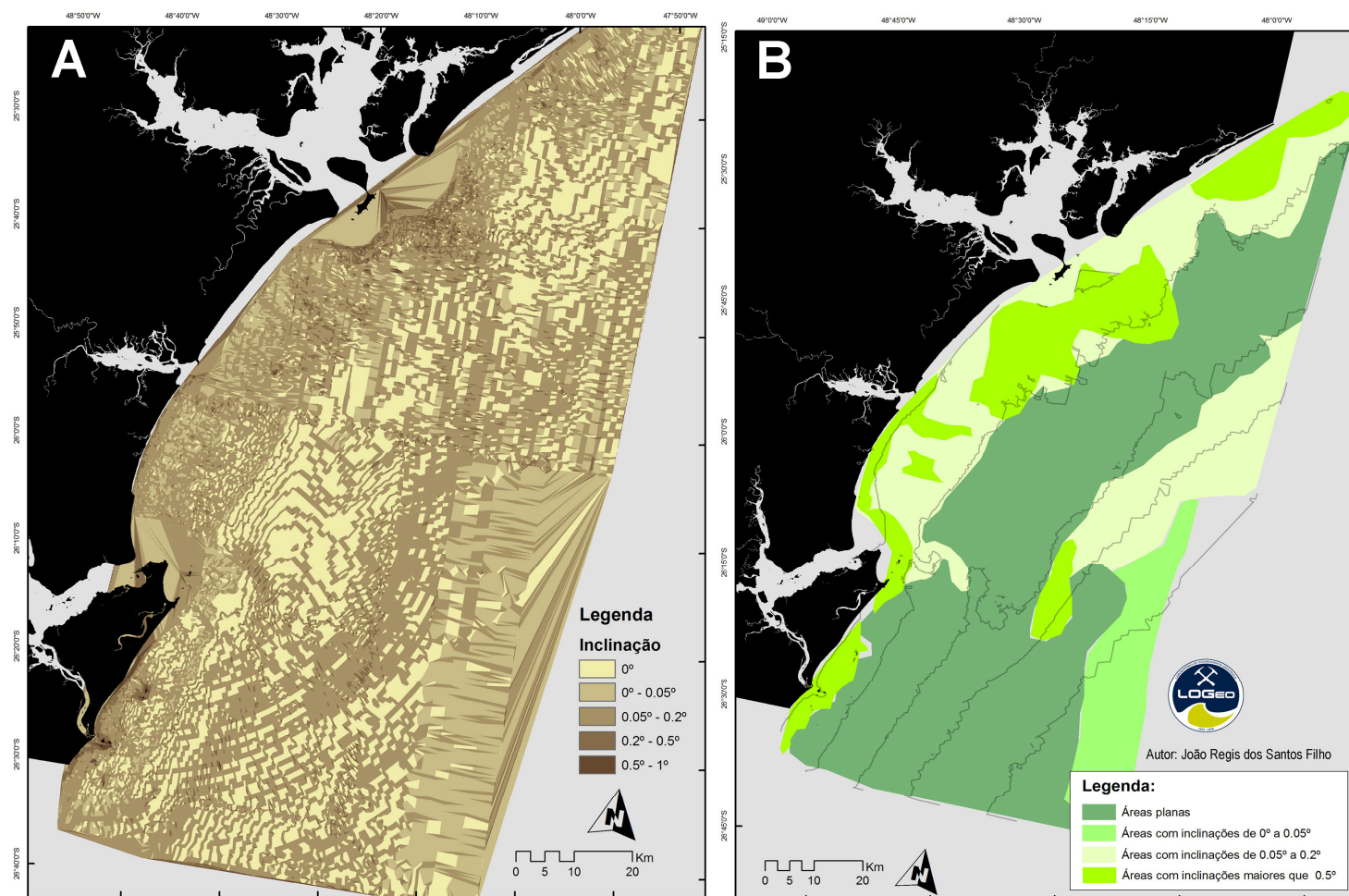


FIGURA 24. MAPA DE ÁREAS DE DECLIVIDADE CRIADO ATRAVÉS DA INTERPRETAÇÃO (B) DO MAPA DE DECLIVIDADE GERADO A PARTIR DA SUPERFÍCIE TIN (A).



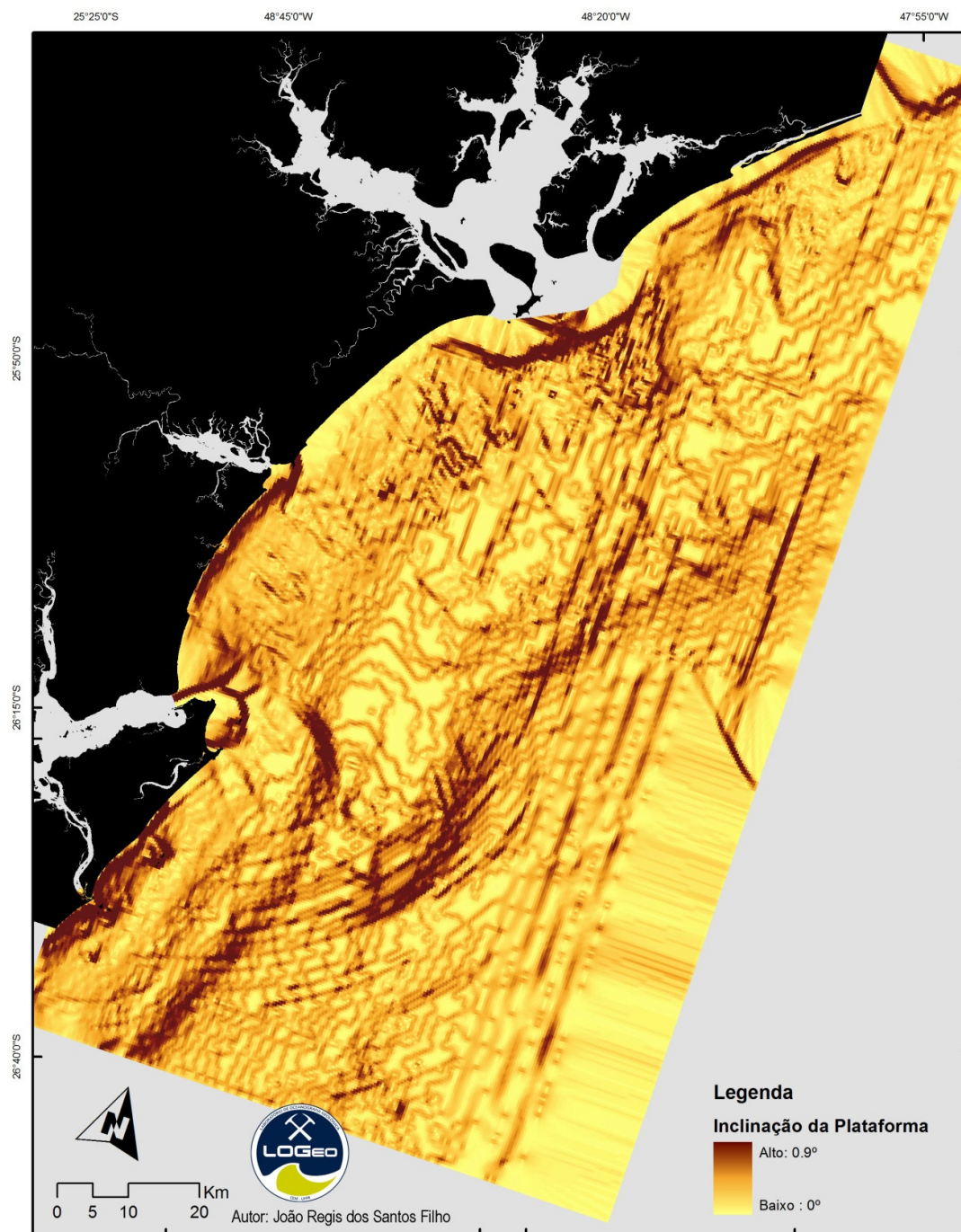


FIGURA 25. MAPA DE DECLIVIDADE DA PLATAFORMA CONTINENTAL CRIADO A PARTIR DA INTERPOLAÇÃO DE MÍNIMA CURVATURA DE TENSÃO.

## 6.2 CANAIS E PALEO-LINHAS DE COSTA

No levantamento foram identificados dois canais (FIGURA 25), ambos orientados para SE. O primeiro possui 22 km de extensão na sua porção superior (A1) e 36 km na parte inferior (A2), com quatro metros de profundidade média de cava. O segundo possui ~69 Km de extensão e aproximadamente cinco metros de profundidade de cava, sofrendo bifurcação na sua parte inferior. Os canais apresentaram perfis com inclinações parecidas (Figura 26), sendo o canal A (A1+A2) mais inclinado, com  $\sim 0,025^\circ$ , e o canal B mais suave, com  $\sim 0,021^\circ$ . O canal A também apresentou a maior profundidade, variando de 16 a 38 m. Já o canal B variou a sua profundidade e 16 a 31 m (FIGURA 27).

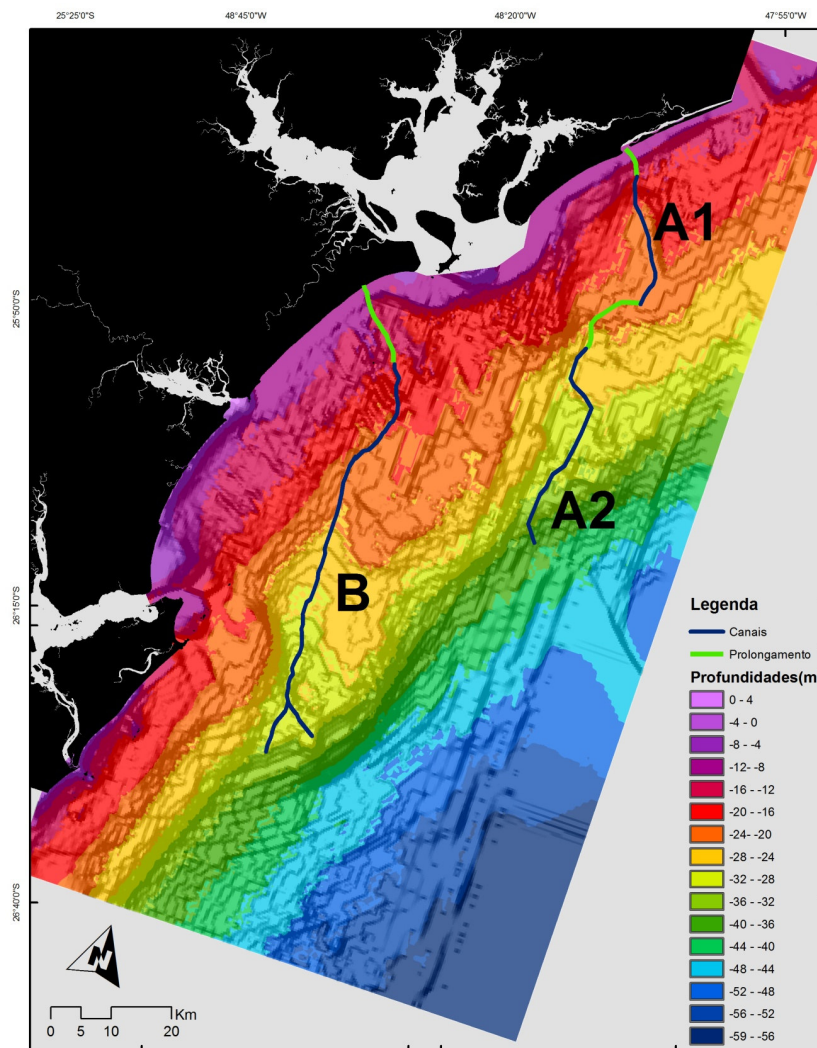


FIGURA 26. MAPA DAS PALEO-PLANÍCIES COSTEIRAS DE ACORDO COM AS PROFUNDIDADES DE OCORRÊNCIA DOS ARENITOS DE PRAIA DATADOS POR VEIGA (2005).



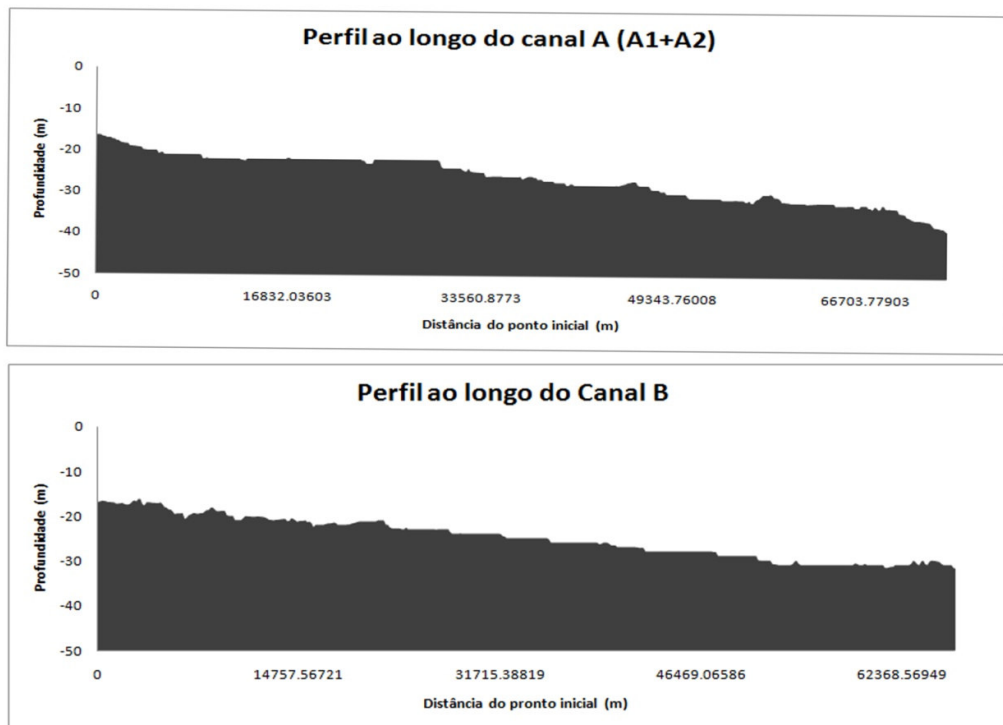


FIGURA 27. PERFIS AO LONGO DOS CANAIS A E B.

As paleo-linhas de costa (FIGURA 27) mostraram uma provável configuração da região costeira em dois momentos do período Quaternário. O primeiro momento (~25000 anos A.P.) onde há uma diferença de posição de 45 km em relação à linha de costa atual. Já no segundo momento (~8500 anos A. P.) a linha de costa se encontrava a ~10 Km de distância da mesma linha de base. A paleo-linha de costa para o primeiro momento está voltada para Sul do que a de ~8500 anos A. P.

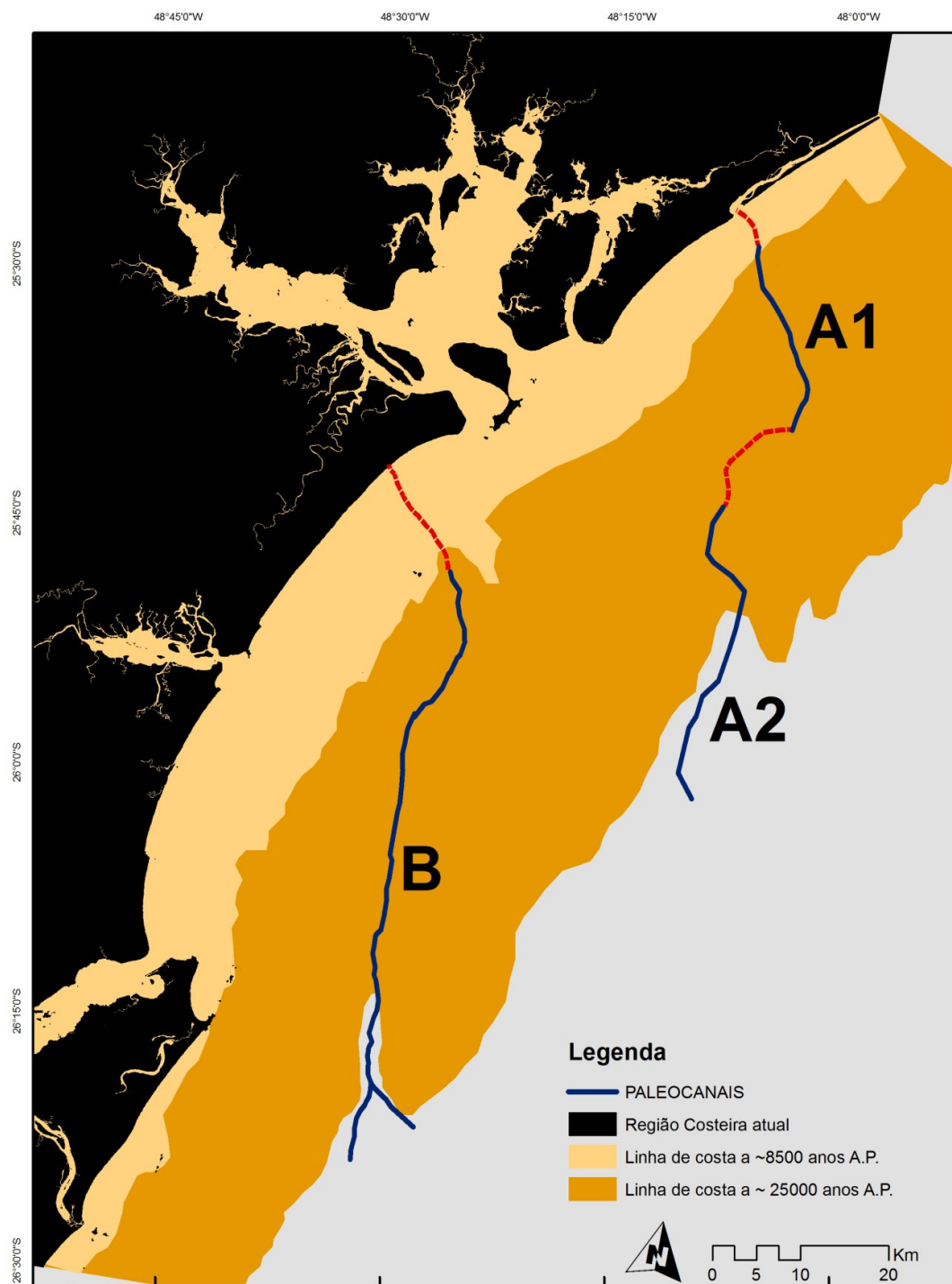


FIGURA 28. MAPA DAS PALEO-PLANÍCIES COSTEIRAS DE ACORDO COM AS PROFUNDIDADES DE OCORRÊNCIA DOS ARENITOS DE PRAIA DATADOS POR VEIGA (2005).

## 7. DISCUSSÃO

Os princípios da morfodinâmica elaborados por Wright (1995) puderam ser observados ao longo das comparações entre os perfis batimétricos. A profundidade se mostrou um fator limitante, embora a conformação geográfica do litoral também tenha afetado a configuração da plataforma continental, de maneira que criou áreas expostas ou protegidas à ação de ondas e correntes costeiras. Desta forma, a maior declividade da plataforma continental norte catarinense pode estar relacionada com o fato de a região receber maior influência das frentes de onda oceânicas de S/SE, que acabam por transportar os sedimentos para áreas a montante.

Provavelmente o maior tamanho e menor declividade da plataforma continental paranaense podem estar relacionados com um maior tempo de permanência dos sedimentos neste ambiente. Entretanto, a configuração da plataforma não depende apenas de processos físicos recentes ou aporte sedimentar, mas também é resultado do arranjo tectônico e variações no nível relativo do mar durante o período Quaternário (Wright, 1995).

Todavia, a presença de ilhas aparentou influenciar razoavelmente a inclinação dos perfis. Um anteparo fixo poderia alterar completamente os processos morfodinâmicos recentes, criando ambientes deposicionais localizados e distintos do seu entorno. As rochas poderiam estar mudando as intensidades das variáveis físicas, alterando o coeficiente de atrito entre o fluido e o substrato descrito por Wright (1995).

Ao comparar-se o resultado da análise de similaridade com os perfis batimétricos divididos a cada -10 m notou-se que, embora o aporte sedimentar contribua para a morfodinâmica, não existe uma relação íntima entre inclinação da plataforma e drenagem continental. Embora o dendograma tenha separado setores que correspondem às desembocaduras dos estuários presentes da região estudada, estes não serão, necessariamente, sempre uniformes. Tais setores podem variar espacialmente de acordo com mudanças nas variáveis geohistóricas ao longo do tempo. Além disso, a precisão de três casas decimais para a análise pode inferir mudanças na configuração desses setores, causadas por incoerências no método de amostragem ou no tipo de tratamento dos dados.

De uma maneira geral, pode-se afirmar que as características da plataforma continental do estado do Paraná e norte de Santa Catarina são semelhantes às encontradas por Conti & Furtado (2006) para o estado de São Paulo. Desta forma, também foi possível identificar a ocorrência de feições morfológicas descritas por esses autores como faixas de ruptura de relevo e resquícios de paleovales assoreados. Entretanto, a plataforma paranaense e norte catarinense se mostrou mais inclinada  $\sim 0,02^\circ$  em relação a de São Paulo.

Embora Conti & Furtado (2006) tenham identificado faixas de ruptura de relevo, estes autores não deixam claro o tipo, nem a extensão dessas feições ao longo da plataforma continental de São Paulo. Todavia, a profundidade onde se encontram essas feições ( $\sim 20$  m) é condizente com a ocorrência dos platôs identificados neste trabalho e dos arenitos de praia encontrados e datados por Veiga (2005). Essa relação entre a ocorrência dos platôs e a presença de arenitos de praia pode indicar que provavelmente essas feições geomorfológicas tenham se formado durante um período de nível relativo do mar mais baixo.

No entanto, a existência dos platôs em uma faixa da plataforma continental do estado do Paraná e norte de Santa Catarina é discutível. Os interpoladores utilizados para a geração dos MDEs (triangulação e mínima curvatura) podem ter causado algum tipo de ruído em regiões de baixas declividades, dando a impressão de que a alternância entre as isóbatas ocorreriam na forma de degraus. No entanto, os dois diferentes métodos de interpolação utilizados apresentaram a feição de maneira clara. Os mapas de declividade e os perfis batimétricos também evidenciam a presença dos platôs. Em teoria, essas ferramentas não utilizam as curvas de nível como referência e sim a inclinação da superfície, o que levou a possibilidade da existência de superfícies planas ou semi-planas intercaladas por faixas de terreno mais íngremes.

Além disso, Conti & Furtado (2006) observaram uma boa correlação entre paleovales de canais e as desembocaduras atuais dos estuários da costa paulista. Assim como no caso deste trabalho, eles também identificaram um deslocamento para sul no eixo principal de alguns desses paleovales. Esses autores associaram tal deslocamento a regiões de maior declividade, sendo essas reguladoras da configuração do fluxo de uma drenagem continental

antiga. Apesar disto, ainda não se pode afirmar as reais proporções desses sistemas de paleo-drenagem, principalmente em áreas rasas. O constante retrabalhamento dos sedimentos pelas variáveis geohistóricas descritas por Swift & Thorne (1991) podem ter soterrado ou erodido evidências.

A integração dos canais encontrados com as paleo-linhas de costa geradas a partir dos arenitos de praia encontrados e datados por Veiga (2005) permitiram atribuir que a ~25000 anos A.P. esta faixa do litoral brasileiro estivesse mais voltada para a direção S/SE. Provavelmente a desembocadura sul do CEP estava deslocada para onde atualmente se localiza o balneário Shangri-lá, em Pontal do Paraná (PR). A desembocadura do mar do Ararapira também poderia ser maior, aumentando a sua importância para a drenagem continental da região. A descontinuidade das evidências de canais sobre a linha de costa de ~8500 anos A.P. pode ser explicada pela atual dinâmica costeira. Segundo o conceito de plataforma interna de Wright (1995) e o trabalho realizado por Veiga (2005), essa região é caracterizada por ser controlada pelo regime de ondas, fazendo com que parte dos registros pudessem ter sido erodidos ou soterrados.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento batimétrico variou de 2 a 59 metros de profundidade. As porções mais profundas se encontram na região E/SE e as mais rasas próximas a costa. Pôde-se observar a presença do delta de maré vazante do CEP, além das ilhas paranaenses do arquipélago de Currais e Itacolomis e catarinenses da ilha da Paz e arquipélagos Tamboretes e dos Remédios.

As classes encontradas pela análise de similaridade estão relacionadas a distintos ambientes deposicionais, sendo regulado por variáveis hidroceanográficas (ondas, correntes e configuração da costa), pela capacidade de aporte sedimentar pela drenagem continental, pela eficiência de transporte de sedimentos pela deriva litorânea e pelas variações do nível relativo do mar durante o período Quaternário. Essa análise também se mostrou condizente com a comparação entre os perfis divididos a cada 10 m. A porção norte apresentou menores valores de declividade e a sul obteve os maiores ângulos de inclinação, como já descritos por esses autores. Entretanto os setores não são fixos, podendo variar espacialmente em função de mudanças nas variáveis geohistóricas.

Foi possível identificar a existência de platôs entre as isóbatas de 20 e 30 m, que coincidem com a presença de arenitos de praia encontrados e datados por Veiga (2005). A presença dos platôs em áreas de ocorrência de *beachrocks* pode ser um indicativo da formação dessas feições em períodos de nível do mar mais baixo. No entanto, a existência desses platôs é discutível, levando-se em consideração que ruídos na interpolação durante a criação dos MDEs podem ter mascarado a verdadeira configuração geomorfológica dessa região.

Existe a ocorrência de dois canais na plataforma continental paranaense, relacionados com as desembocaduras do mar da Ararapira e do CEP. Esses canais estão relacionados às desembocaduras do mar da Ararapira (A1 e A2) e do CEP (B), embora a extremidade do prolongamento do canal B esteja deslocada cerca de 11 km ao sul da desembocadura atual, nas proximidades do balneário Shangri-lá, em Pontal do Paraná (PR). A presença desses canais pode ser indicativa de um sistema de paleo-drenagem antigo,

sendo necessários estudos sísmicos e estratigráficos futuros para a melhor compreensão dessas feições.

A metodologia aplicada neste trabalho (análise de similaridade, comparação entre perfis batimétricos, os mapas de declividade) mostrou ser eficiente na caracterização geral da geomorfologia da plataforma continental paranaense e norte catarinense, embora a batimetria forneça apenas parte das informações necessárias para se compreender o funcionamento deste ambiente.

Para trabalhos futuros faz-se necessário como complemento ao entendimento do ambiente de plataforma interna e média da região: a agregação de dados sedimentológicos, o mapeamento das áreas que de ocorrência de arenitos de praia e a identificação detalhada de feições de fundo com equipamentos de maior sensibilidade.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do Paraná**. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1992.

\_\_\_\_\_. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the State of Paraná. **Anais Academia Brasileira d Ciências**, v. 71, n.4-II. p. 935-959. Rio de Janeiro. 1999.

\_\_\_\_\_. Mapa do Cenozóico do litoral do Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 55, n. 1, p. 16-30, 2004.

ANGULO, R. J. ; LESSA, G. C.; SOUZA, M. C. **A critical review of the mid- to late Holocene sea-level fluctuations on the eastern brazilian coastline**. Quaternary Science Reviews, Londres, 2006. v. 25, n. 5-6, p. 486-506,

ANGULO, R. J.; LESSA, G. C.; SOUZA, M. C. **The holocene barrier systems of Paranaguá and northern Santa Catarina coasts, southern Brazil**. Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil. Springer Berlin/Heidelberg. ISBN: 978-3-540-25008-1, 2009. 135-176p.

BOOTH, B. **Using ArcGIS 3D Analysis**. New York: ESRI Press, 2001.

CASTRO, B. M.; LORENZETTI, J. A.; SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B. **Estrutura termohalina e circulação na região entre o cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS)**. O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região Sudeste-Sul do Brasil. Editora Edusp. São Paulo, 2006. ISBN: 85-314-0948-9 p. 11-121.

CIRM - Comissão Interministerial para Recursos do Mar. **IV Plano setorial Para Recursos do Mar**. Decreto nº 6.678, de 8 de Dezembro de 2008. Brasília, DF.

CONTI, L. A. & FURTADO, V. V. **Geomorfologia da plataforma continental do estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, v. 36 (2), p. 305-312. 2006.



FIGUEIREDO Jr, A. G. & MADUREIRA, L. S. P. **Topografia, composição, refletividade do substrato marinho e identificação de províncias sedimentares na Região Sudeste-Sul do Brasil**. Série Documentos Técnicos do Programa REVIZEE Score-Sul – São Paulo, Instituto oceanográfico –USP. 64pp. 2004.

HAZIN, F.; PEREZ, J. A.; TRAVASSOS, P. **Nossas riquezas no mar: recursos vivos**. In: O mar no espaço geográfico brasileiro. Ministério da Educação, CDU: 372.891.

KENNETT, J. P. **Marine Geology**. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. ISBN: 0-13-556936-2, 1982. 29p.

LAMOUR, M. R. **Dinâmica sedimentar do Canal da Galheta, via de acesso ao Porto de Paranaguá-PR**. Dissertação (Mestrado em Geologia), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 2000.

\_\_\_\_\_. **Morfodinâmica sedimentar da desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá-PR**. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 2007.

LAMOUR, M. R. & SOARES, C. R. **A “Barra de Paranaguá” e a evolução batimétrica do delta de maré vazante da desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá (PR)**. Dragagens Portuárias no Brasil: engenharia, tecnologia e meio ambiente. ADEMADAM, UNIBEM e MCT, Antonina. ISBN: 978-85-60764-01-3, 2008. 70p.

LESSA, G. C.; ANGULO, R. J.; GIANINNI, P. C. F.; ARAÚJO, A. D. Stratigraphy and holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. **Marine Geology**. Amsterdam, v. 165, n. 1/4, p. 87-108, 2000.

MARONE; E. GUIMARÃES, M. R.; PRATA JR., V. P.; KLINGENFUSS, M. S. & CAMARGO, R. Caracterização física das condições oceanográficas, meteorológicas e costeiras das zonas estuarinas da Baía de Paranaguá – PR, Brasil. **Congreso Latinoamericano de Ciencias Del Mar**, Mar del Plata, 1995. 129p.

MCCOY, J., & JOHNSTON, K. **Using ArcGIS spatial analyst**. ESRI. Redlands, 2001. 230 p.

MIGUENS, A. P. **Navegação: a ciência e a arte**. Volume I. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Rio de Janeiro. ISBN:85-7293-017-5, 1996. 304-310p.

NETO, J. A. B. & SILVA, C. G. **Morfologia do fundo oceânico**. Introdução à Geologia Marinha, Editora Interciência, Rio de Janeiro. ISBN: 85-7193-098-8, 2004. 34p.

ROCHA-CAMPOS, A. C. & SANTOS, P. R. **Ação geológica do gelo**. Decifrando a Terra. Oficina de Textos. São Paulo, 2000. 568 p.

ROCHA, J.M.; MILLIMAN, J.D.; SANTANA, C.I. & VICALVI, M.A.. **Southern Brazil**. In: *Contributions to Sedimentology*, Upper continental margin sedimentation of Brazil. Stuttgart, 1975. v.4, p.117-150.

RUTHERFORD, S. **Milankovitch cycles**. [online] Disponível na Internet via <http://deschutes.gso.uri.edu/~rutherfo/milankovitch.html>. Última atualização em 01 de janeiro de 2000.

SANTOS, A. R. **ArcGIS 9.1 total: Aplicação para dados espaciais**. GEOBASES-ES, Vitória, 2001.

SANTOS FILHO, J. R. & LAMOUR, M. R. **Geomorfologia submarina da plataforma continental paranaense: dados preliminares**. XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA). La Plata, 2009.

SCHMIEGELOW, J. M. M. **O planeta azul: uma introdução às ciências marinhas**. Editora Interciência, Rio de Janeiro. ISBN: 85-7193-102-X. 2004.

SHEPARD, F. P. **Submarine Geology**. 2<sup>nd</sup> Ed. Harper & Row Publisher, New York, 1963. 152-348p.

SILVA, C. G. & MELLO, S. L. M. **Nossas Riquezas no Mar: recursos não vivos**. Coleção explorando o ensino: Geografia. Ministério da Educação. Brasília, 2005. P. 160-177.

SILVA, C. G.; PATCHINEELAM, S. M.; NETO, J. A. B.; PONZI, V. R. A. **Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa**. Introdução à Geologia Marinha, Editora Interciência, Rio de Janeiro. ISBN: 85-7193-098-8, 2004. 175p.

SOLEWICS, R. **Feições fisiográficas submarinas da plataforma continental do Rio Grande do Norte visíveis por imagens de satélite.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.

SOUZA, M. C. **Mapeamento da planície costeira e morfologia e dinâmica das praias do Município de Itapoá, Estado de Santa Catarina: subsídios à ocupação.** Dissertação (Mestrado em Geologia). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1999

SOUZA, M. C. **Estratigrafia e evolução das barreiras holocênicas paranaenses, sul do Brasil.** Tese (Doutorado em Geologia), Setor de ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 95p. 2005

SWIFT, D.J.P. & THORNE, J.A. 1991. **Shelf Sand and Sandstone Bodies – Geometry, Facies and Sequence Stratigraphy.** 1. ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 531 p

TENNYSON, A. L. **Sea-level history and seismic stratigraphy.** Marine Geology, Prentice-Hall, Inc. New Jersey. ISBN: 0-13-556936-2, 1982. 265p.

TESSLER, M. G. & MAHIQUES, M. M. **Processos oceânicos e a fisiografia dos fundos marinhos.** In: Decifrando a Terra. Editora Oficina de Textos. São Paulo. ISBN: 85-86238-14-7, 2000. 263p.

VEIGA, F. A. **Sedimentologia, morfologia & dinâmica da face da costa no litoral central do estado do Paraná.** Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 2005.

\_\_\_\_\_. **Processos morfodinâmicos e sedimentológicos da plataforma continental rasa paranaense.** Tese (Doutorado em Geologia Ambiental), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 2006.

VERNBERG, F. J. & VERNBERG, W. B. **The coastal zone: past, present and future.** University of South Carolina Press. Columbia. ISBN: 1-57003-394-3, 2001.

WRIGHT, L. D. **Morphodynamics of inner continental shelves.** CRC Marine Science Series. Flórida - EUA. 241 p. 1995.